

Цифровая железная дорога и переход от сети GSM-R к LTE-R и 5G-R – состоится ли он?

М.А. Шнепс-Шнеппе, Н.О.Федорова, Г.В. Суконников, В.П. Куприяновский

Аннотация— Статья посвящена вопросам построения цифровой железной дороги. В статье подробно рассмотрены способы организации железнодорожной сигнализации. Далее в работе рассматривается сеть связи GSM-R, ее основная идея, сервисы и архитектура. В работе также рассмотрены основы сетей LTE и 5G, приведено сравнение сетей GSM-R и LTE, обсуждаются задачи совместной работы сетей GSM-R, LTE-R и 5G-R. Основной вывод работы состоит в том, что, учитывая разнообразие железнодорожных услуг и сценариев, архитектура соответствующей сети мобильной связи должна быть неоднородной (гетерогенной), включая различные типы сетей доступа, работающих в различных диапазонах частот и размещенных в нескольких полосах частот, несколько сценариев, а также различные требования к покрытию мобильной сети.

Ключевые слова—цифровая железная дорога, GSM-R, LTE, 5G.

I. ВВЕДЕНИЕ

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 – это стандарт мобильной связи GSM для железнодорожных перевозок. GSM-R обеспечивает защищенную голосовую связь и передачу данных между железнодорожными службами и поездами [1].

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 [2,3]. 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.

Состояние техники связи обсуждается на конференциях Международного союза железнодорожников UIC, которые проводятся два раза в год. Рассматриваются злободневные вопросы модернизации железных дорог с участием производителей оборудования. Почитаем обзор материалов парижской конференции 2015 года [1]. Основной темой был анализ успехов стандарта GSM-R – как основы глобальной системы цифровых железных дорог. Обсуждали вопросы безопасности сетей GSM-R, улучшение качества оборудования. Новые проблемы возникают из-за помех от развертывания мобильных сетей 3G и 4G/LTE, которые используют широкополосные каналы радиосвязи. Касались и технологии будущих систем пакетной коммутации LTE-R и 5G-R, которые могут прийти на смену GSM-R.

В настоящее время разрабатываются требования к новому поколению железнодорожной системы мобильной связи (Future Railway Mobile Communication System, FRMCS). Планируется, что они будут завершены к 2018. Эта сеть разрабатывается как комбинация двух сетей LTE плюс R, а не как единая сеть LTE-R. Состояние стандартов LTE обсуждалось подробно. Версия LTE Release 12, которая будет завершена в 2017 году, содержит слишком много не стандартизованных интерфейсов и не пригодна для внедрения. Более подходящей обещает быть следующая версия Release 13, которая должна быть стандартизирована к концу 2018 года и будет доведена до применения к 2023. Тем самым развертывание LTE на Европейских железных дорогах может начаться не ранее 2022.



Рис. 1. Дорожная карта разработки стандартов 4G/LTE и 5G силами консорциума 3GPP и стандартов 5G PPP Европейского Союза [1]. Испытания новых сетей приурочены к предстоящим Олимпийским играм.

Статья получена 12 декабря 2016.

М.А.Шнепс-Шнеппе – д.т.н., профессор, генеральный директор ООО «ЦКБ-Абаванет» (email: sneps@mail.ru)

Н.О.Федорова – МИИТ (email: fedorova.n.o@gmail.com)

Г.В. Суконников - ОАО РЖД, (email: sukonnikovgv@center.rzd.ru)

В.П.Куприяновский – МГУ имени М.В. Ломоносова (email: vpkupriyanovskiy@gmail.com)

Участники конференции пришли к заключению, что следует придерживаться стандарта GSM-R и планировать его применение, по крайней мере, до 2030 года. Переход на сети пакетной коммутации LTE можно начать не ранее 2023. К тому времени следует сосредоточиться на вопросах распределения частот, так как это по-прежнему является серьезной проблемой для будущего. Остается открытым вопрос о судьбе новейшего поколения 5G. Если спецификация 5G будет завершена ранее перехода на сеть LTE плюс R, то преемником GSM-R может стать оборудование 5G. Но на данный момент нет предположений о том, когда стандарт 5G можно будет внедрять на железных дорогах.

Заметим, что новое поколение техники связи требует длительного времени доводки. Например, стандарт GSM опубликовали в 1987 г., а стандарт для мобильной сети GSM-R (GSM-Rail) появился только через десять лет работы, и в 2008 году европейские железнодорожники приняли его за единую основу связи.

Настоящая работа является продолжением статей [4-8]. Далее, в разделе 2 рассмотрены способы железнодорожной сигнализации. В разделах 3-5 рассмотрены: основная идея сети GSM-R, ее сервисы и архитектура. В разделах 6 и 7 рассмотрены основы сетей LTE и 5G. Статья завершается обсуждением задач совместной работы сетей GSM-R, LTE-R и 5G-R.

II. ТРИ УРОВНЯ СИГНАЛИЗАЦИИ ETCS

Традиционная система сигнализации использует метод фиксированных блоков (Fixed Block Signaling). Блок определяет расстояние между двумя сигналами. Блоки предотвращают соударение поездов: только один поезд может находиться в блоке [9].

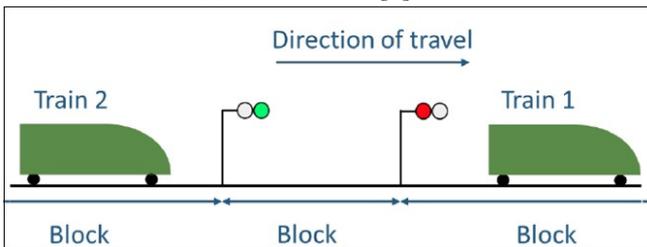


Рис. 2. Традиционная система сигнализации по фиксированным блокам (Fixed Block Signaling).

Технология ETCS может внедряться постепенно в три этапа: Level 1, Level 2 и Level 3. В системе ERTMS для управления поездом выделяются три составные части:

- 1) компьютер в кабине машиниста, который связан с терминалом GSM-R, установленном на поезде,
- 2) теги (balises) 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) система непрерывной радиосвязи GSM-R между поездом и центром управления.

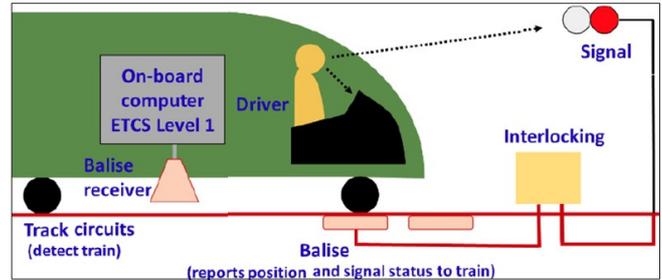


Рис. 3. Level 1: оборудование на путях отвечает за обнаружение движения поезда и выдает сигналы блокировки (interlocking).

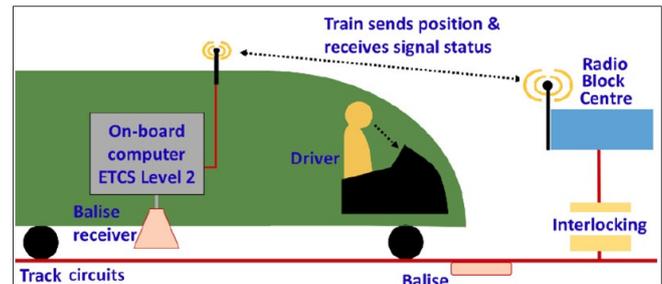


Рис. 4. Level 2: то же, что и на Level 1, за исключением того, что поезда постоянно получают сигналы из центра управления по радиосети GSM-R. Наличие поезда на путях (с учетом длины состава поезда) по-прежнему определяет оборудование на путях (track circuits).

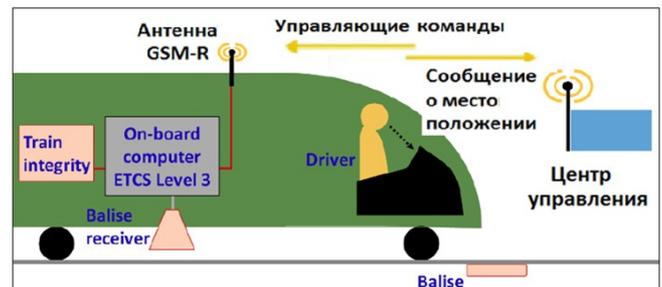


Рис. 5. Level 3: бортовой компьютер ETCS получает сигналы от тегов (balises), а движение поезда определяют команды из центра управления.

Выводы. 1) 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 управлять безопасным расстоянием между следующими друг за другом поездами и увеличивать пропускную способность путей до 40%, кроме того, уменьшает стоимость перевозок на 30%. При этом еще не считаются большие выигрыши от снижения стоимости инфраструктуры - многие элементы, обеспечивающие аналоговую сигнализацию, оказываются просто не нужны.

2) Внедрение технологии ETCS представляет собой длительное и дорогое мероприятие. Например, как отмечено в [9], в Великобритании начальная программа

Digital Network Rail изначально планировалась на целых 50 лет. Сейчас же реализуется план перехода на технологию ETCS Level 2 в течение 25 лет, и обсуждаются планы ускорения – развертывания технологии ETCS Level 3 в течение 15 лет.

III. ОСНОВНАЯ ИДЕЯ GSM-R

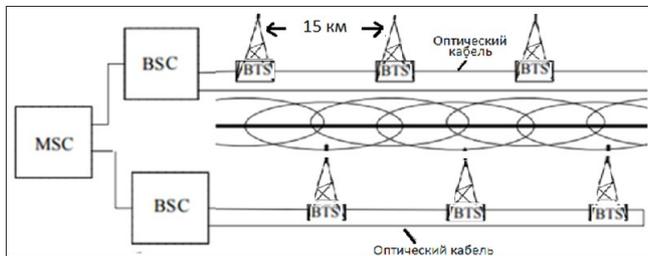


Рис. 6. Два набора чередующихся базовых станций BTS с кольцевым соединением по оптическим кабелям.

На рис. 6 показаны три основных узла мобильной сети GSM-R (в традиционной сети GSM они выполняют те же функции):

- BTS – Базовая приемо-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. 6. 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.

IV. 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 (рис. 7). 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) и циркулярных (VBS: Voice Broadcast System) вызовов, а также механизма приоритетов (eMLPP). 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.

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)

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.

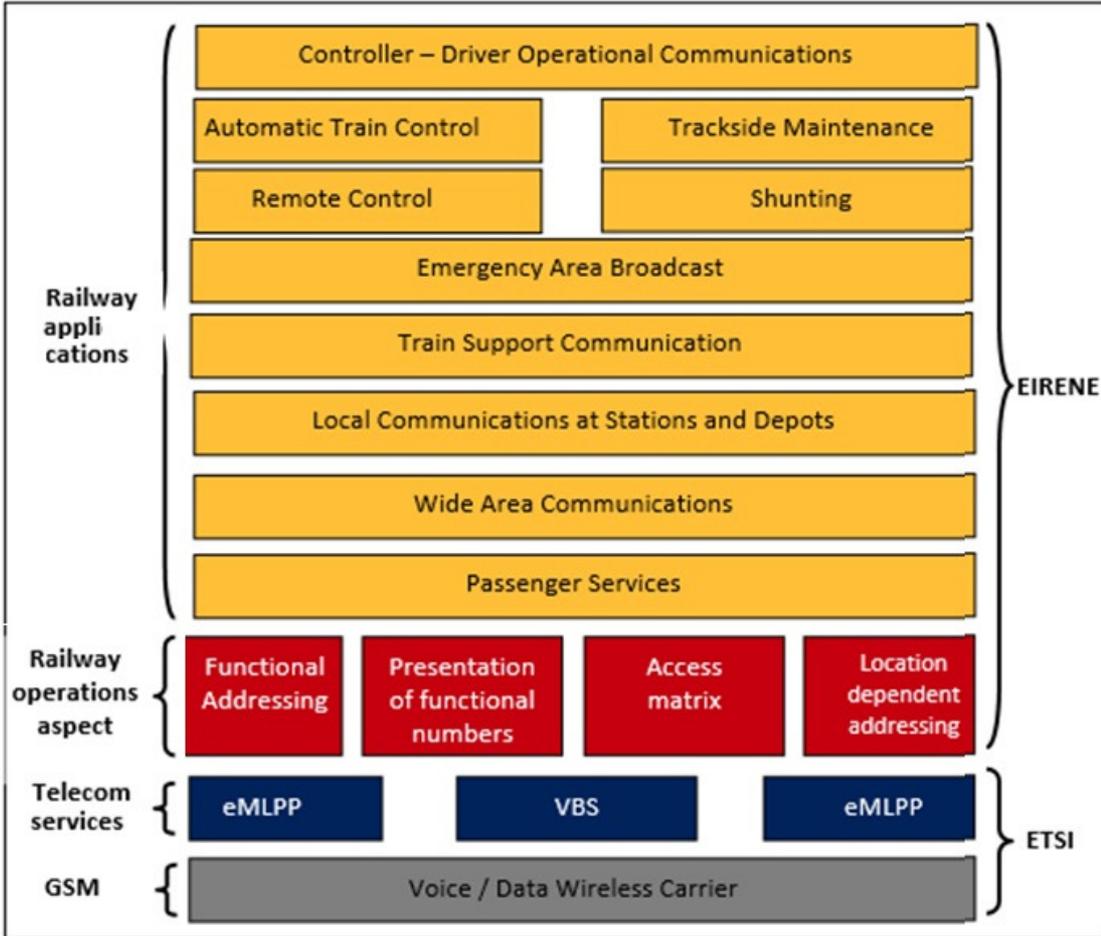


Рис. 7. Приложения GSM-R: железнодорожные приложения определяют стандарты EIRENE, а телекоммуникационные – ETSI.

System No. 7, SS7) представляет собой своего рода «нервную систему» на сети GSM-R.

V АРХИТЕКТУРА СЕТИ GSM-R

Узлы сети GSM-R общаются по протоколам SS7, MAP и CAP (рис. 8). Обратим внимание на важнейшую роль телефонной сигнализации SS7 и архитектуры интеллектуальных сетей в системе GSM-R. Общеканальная система сигнализации № 7 (Signaling

Система каналов SS7 связывает не только узлы сети GSM-R между собой, но и обеспечивает увязку сети GSM-R с сетью фиксированной железнодорожной связи и с сетями общего пользования.

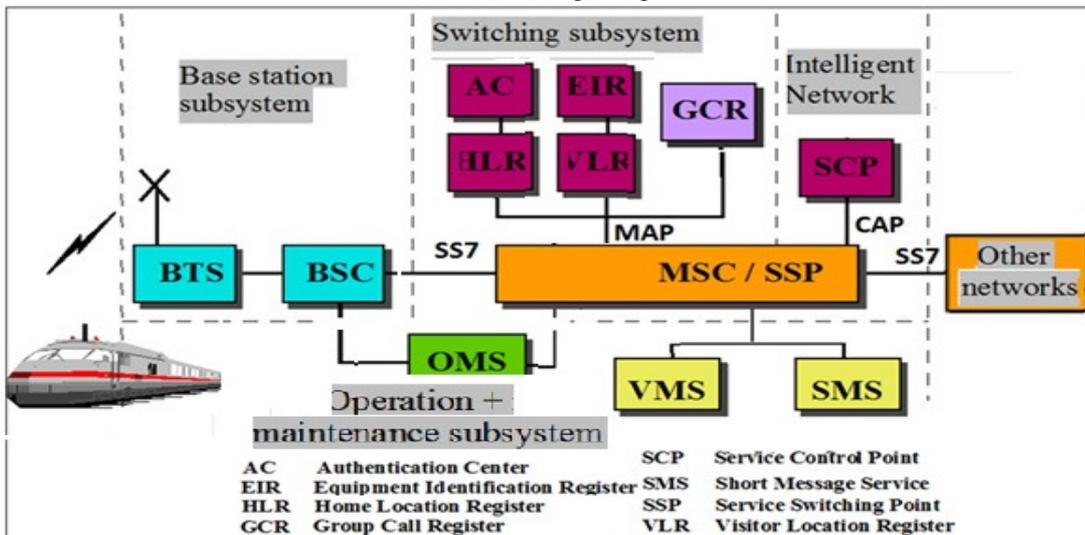


Рис. 8. Схема архитектуры сети GSM-R [10].

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.

Для предоставления интеллектуальных вызовов используется протокол CAP (CAMEL Application Part). Он обеспечивает взаимодействие между двумя основными объектами телефонной сети, построенной по принципам интеллектуальных сетей, а именно между узлом коммутации/узлом коммутации услуг MSC/SSP и узлом управления услугами SCP (а также обеспечивает доступ к базам данных). Протокол CAP является подмножеством основного протокола интеллектуальных сетей INAP (Intelligent Network Application Protocol). Протокол INAP 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).

Поясим роль протоколов MAP и INAP на примере интеллектуальных вызовов: функциональная адресация (FA) (рис. 9). 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. 9 цифрами показан порядок обработки вызова и применяемые протоколы.

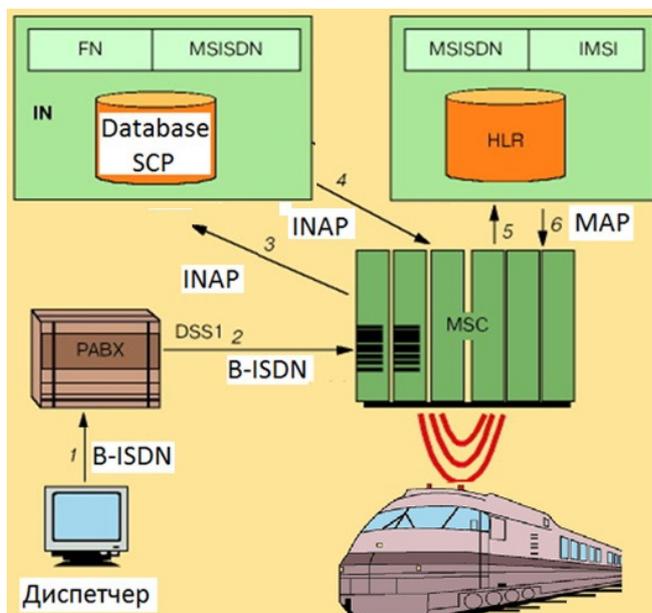


Рис. 9. Функциональная адресация [11].

Поясим обозначения на рис. 9.

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.

VI СЕТЬ LTE НА ЖЕЛЕЗНОЙ ДОРОГЕ

LTE (Long-Term Evolution, часто обозначается как 4G/LTE) – стандарт беспроводной высокоскоростной передачи данных для мобильных телефонов и других терминалов, работающих с данными. Он основан на сетевых технологиях GSM и UMTS, но работает полностью в области пакетной коммутации, пользуясь новыми протоколами сигнализации SIP и LTE.

Воспользуемся материалами диссертации [12]. При переходе от GSM-R к сети LTE общий вид взаимодействия «поезд – центр управления» практически остается без изменений (рис 10), но архитектура сети кардинально меняется (рис. 11).

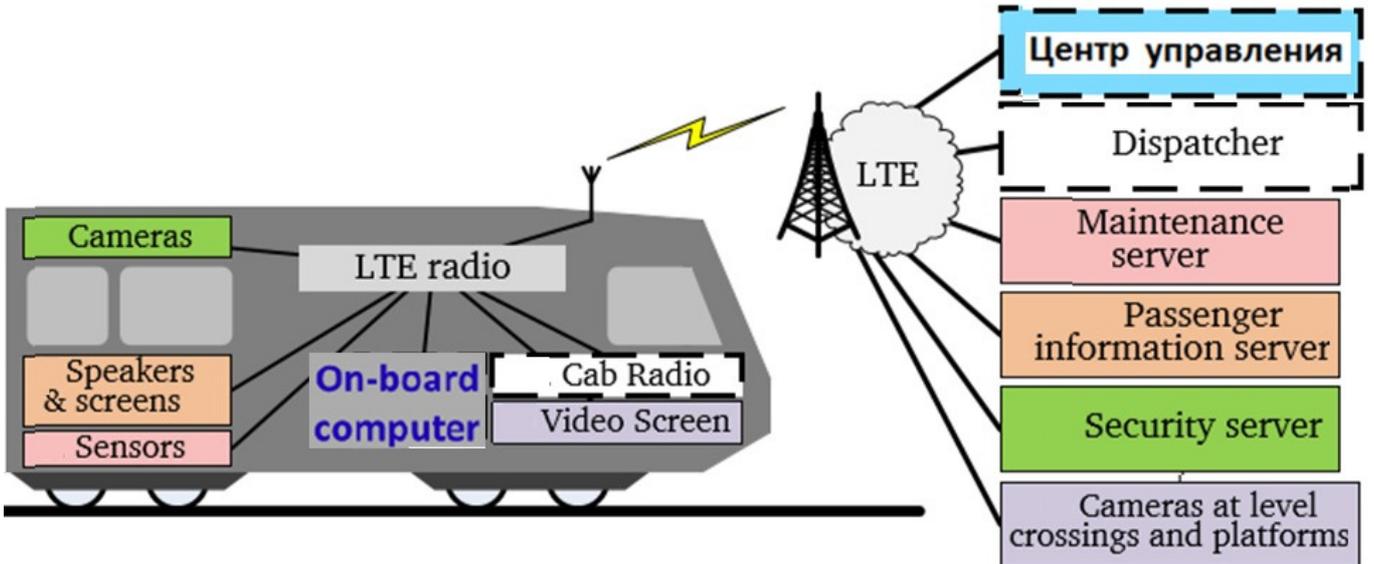


Рис. 10. Общий вид взаимодействия «поезд – центр управления» в сети LTE [12].

интеллектуальной сети занимает IMS (IP Multimedia Subsystem). Появляются новые протоколы сигнализации SIP и LTE для управления передачей пакетов в виде VoLTE media transmission.

Сравним архитектуру сети LTE (рис. 11) с архитектурой GSM-R (рис. 8): радио-часть заменяется на E-UTRAN, коммутационная часть – на пакетный коммутатор EPC (Evolved Packet System), место

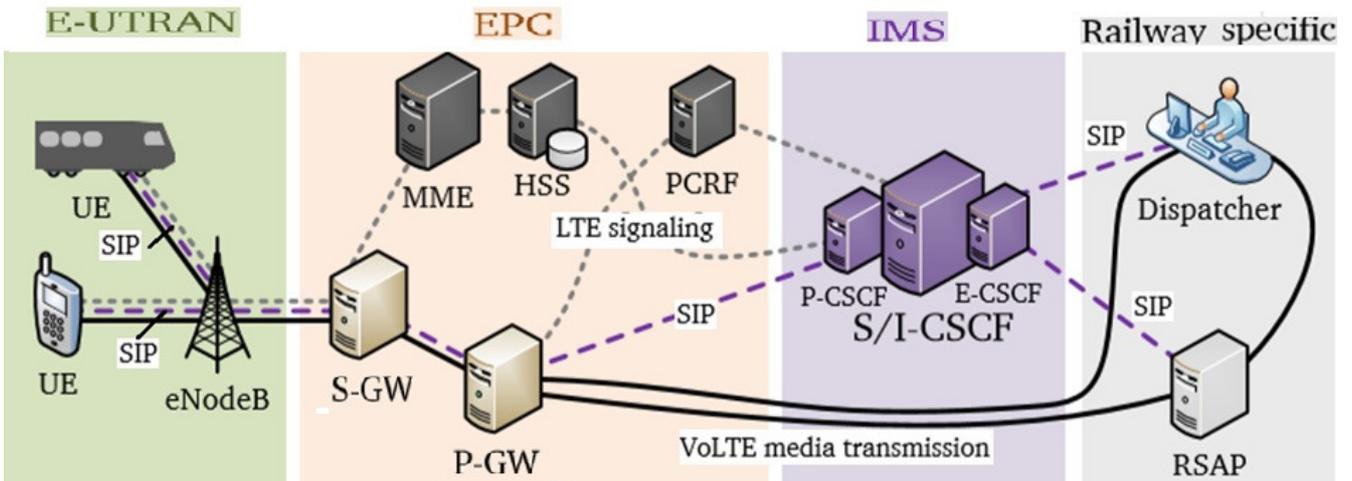


Рис. 11. Архитектура сети LTE [12].

1-10 Gbit/c (рис. 12) с задержкой от конца в конец всего 1 мс [13]. Предполагается уменьшение потребления энергии на 90% и десятилетний срок службы батареи для устройств с низким энергопотреблением. Можно ли эти требования реализовать в ближайшие годы?

VII СЕТЬ 5G ДЛЯ ЖЕЛЕЗНОЙ ДОРОГИ

В настоящее время железнодорожная отрасль стремится к стандартам 4G/LTE, чтобы заменить сети GSM-R. Но возникает вопрос: сможет ли стандарт 5G учесть все требования железнодорожников?

Сети 5G предполагают использование новых полос спектра, включая низкие частоты ниже 1 ГГц и миллиметровый спектр выше 6 ГГц, антенны MIMO (Multiple Input Multiple Output), неортогональные волновые формы и др. Использование миллиметровых волн будет очень сложным, в частности, для разработки контрольно-измерительной аппаратуры.



Рис. 12. Теоретически максимальные скорости передачи сетей 4G/LTE и 5G.

В связи с резким увеличением скорости передачи данных для 5G радио потребуется дополнительный спектр. Но проблема в том, что радиочастотный спектр является ограниченным ресурсом, на который претендует множество пользователей. На сегодняшний день железнодорожная отрасль имеет свою собственную

Сети 5G обеспечивают передачи данных на скорости

выделенную полосу радиочастотного спектра для GSM-R. Маловероятно, что такое удастся для сети 5G. Железным дорогам придется делить спектр радиочастот с другими пользователями, что породит множество проблем надежности связи.

На рис. 13 показан вариант совместной работы сети GSM-R (с расстоянием между мачтами 6–10 км) и пико-ячеек сети 5G (размерами в 0,5–1 км) по планам нового поколения железнодорожной системы мобильной связи (Future Railway Mobile Communication System, FRMCS).

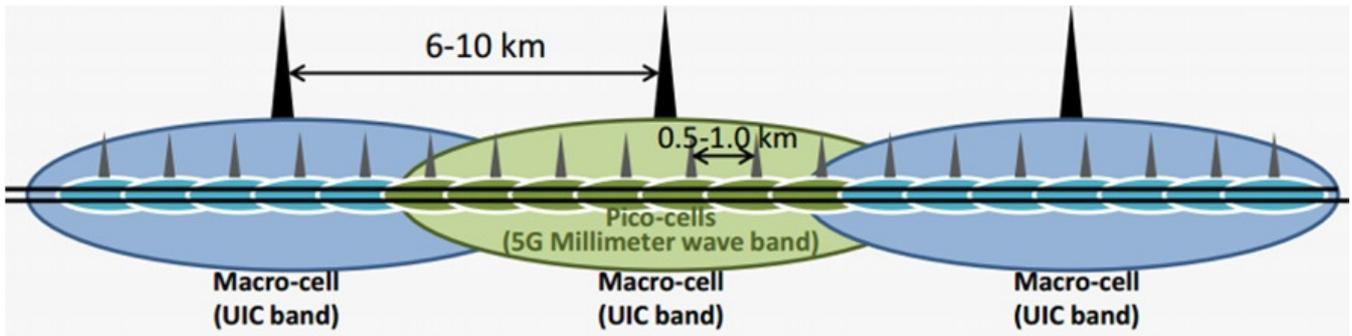


Рис. 13. Совместная работа макро-ячеек сети GSM-R и пико-ячеек сети 5G.

VIII СЕРВИСЫ БУДУЩИХ ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ

Можно выделить четыре группы будущих сервисов [14]:

1) Бортовое и придорожное HD видеонаблюдение. В свете проблем в области безопасности (террористические акты, массовые беспорядки и чрезвычайные ситуации) видеоизображения высокой четкости должны храниться как локально, так и быть переданы в режиме реального времени от поездов и придорожных мониторов в центры управления движением поездов.

2) Бортовые услуги в реальном времени с высокой скоростью передачи данных. Одной из наиболее привлекательных будущих железнодорожных услуг является беспроводной доступ в Интернет в вагонах поезда.

3) Мультимедийные диспетчерские видеопотоки. Например, мультимедийная связь поезда с диспетчером, видеопоток от дверных проемов поезда.

4) Мобильные сервисы для продажи железнодорожных билетов.

5) Интернет вещей для железных дорог. Это относится к сенсорной информации от железнодорожной инфраструктуры, включая мосты, виадуки, тоннели, протечка кабелей, дефекты путей, мерзлого грунта и откосов. С помощью инфракрасных, звуковых датчиков и датчиков температуры информация собирается и отправляется в вычислительный центр. В обработке информации для прогнозирования и принятия управленческих решений используются методы больших данных, платформы облачных вычислений.

Перечисленные сервисы формируют пять сценариев коммуникации (рис. 14):

- 1) поезд – инфраструктура,
- 2) между вагонами,
- 3) внутри вагона,
- 4) внутри станции,
- 5) инфраструктура – инфраструктура.

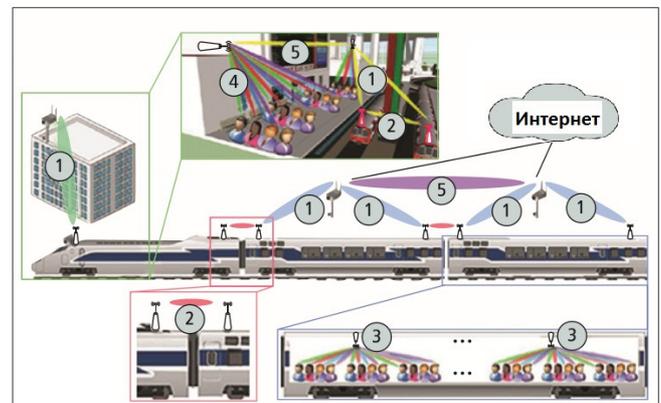


Рис. 14. Пять сценариев коммуникации на будущих железных дорогах [14].

IX ОБСУЖДЕНИЕ. КАК ОБЕСПЕЧИТЬ НАДЕЖНОСТЬ СВЯЗИ НА БУДУЩИХ ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГАХ

Учитывая разнообразие железнодорожных услуг и сценариев, архитектура соответствующей сети мобильной связи должна быть неоднородной (гетерогенной), включая различные типы сетей доступа, работающих в различных диапазонах частот и размещенных в нескольких полосах частот, несколько сценариев, а также различные требования покрытия мобильной сети.

На рис. 15 представлена архитектура гетерогенной наземной сети мобильной связи для будущих железнодорожных систем. Такая сеть будет включать: (1) железнодорожные макро-ячейки, объединяющие подсети GSM-R, LTE-R и 5G-R, (2) общественную сеть мобильной связи и (3) мобильную сеть регулирования автотранспорта. Как реализовать плавное переключение между различными режимами сети? Это является действительно сложной задачей.

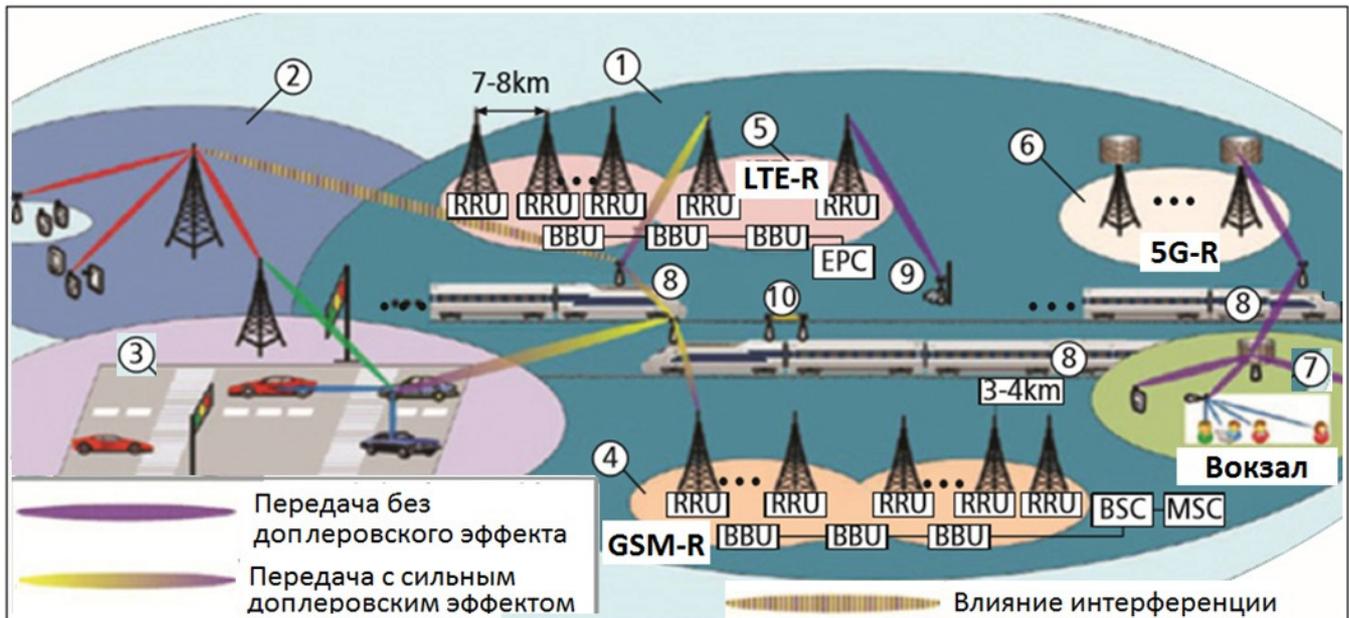


Рис. 15. Архитектура гетерогенной сети мобильной связи для будущих железных дорог [14].

Выделенные сети охватывают железнодорожные линии, железнодорожный вокзал, товарную станцию, сортировочные узлы и другие железнодорожные объекты для целей эксплуатации поездов. Будущие сети будут работать при очень высоких скоростях, вводя высокие доплеровские сдвиги и частые переключения. Тем самым, как планировать расстояние между двумя соседними базовыми станциями, является еще одной сложной задачей.

Соседние базовые станции сети GSM-R (номер 4 на рис. 15) отстоят в 3–4 км друг от друга, чтобы гарантировать хорошее покрытие ячейки. На данный момент стандарт GSM-R является почти зрелым. Тем не менее, модели канала для GSM-R не являются идеальными. Кроме того, сеть GSM-R должна работать совместно с сетью LTE-R (номер 5). На примере опыта Китая расстояние между двумя соседними базовыми станциями LTE-R может быть 7–8 км на частоте 450 МГц и 3–4 км для 800 МГц, что обеспечивает достаточное время для переключения канала и хорошее качество покрытия краев ячейки.

Сеть 5G-R (номер 6) разработана для удовлетворения большой пропускной способности и услуг с высокой скоростью передачи данных. Из-за широкой полосы высоких частот и снижения способности покрытия сеть 5G-R не подходит для оснащения железнодорожной линии, но подходит для общения в вокзале (номер 7) и внутри вагона. Одним из ключевых методов реализации 5G является применение антенн MIMO. Одной из самых сложных задач для сети 5G-R при различных железнодорожных сценариях является построение модели канала с антеннами MIMO в частотных диапазонах 6, 28, 38, 60 и 300 ГГц.

Сценарий T2T (train-to-train, связь между поездами, номер 8) – это сложнейшая задача. Сценарий наземной связи (ground-to-ground, номер 9) относится к инфраструктуре вдоль железнодорожных путей и доступа к веб-камерам.

Успех совместной работы сетей GSM-R, LTE-R и 5G-R (или приложений в миллиметровом диапазоне) зависит от знаний построения канала и знаний планирования и построения сетей. Будут ли эти три сети работать совместно на железной дороге, – на этот вопрос сегодня нет ответа. Пока еще слишком много нерешенных задач. Пока даже не разработаны стандарты LTE и 5G. Как известно, переход от GSM к GSM-R потребовал 10 лет работы. Сколько времени потребуется на разработку версий LTE-R и 5G-R, сегодня преждевременно гадать.

Несмотря на огромные усилия Великобритании ускорить стандартизацию 5G, вплоть до личных обращений премьер-министра страны в письменном виде к руководству ЕС, при практическом внедрении цифровой железной дороги, которое должно состояться на двух железнодорожных линиях в Великобритании в 2018 году, окончательно в качестве национального стандарта был принят GSM-R.

Был выпущен стандарт RSSB (о стандартах цифровых железных дорог и RSSB смотри [15]) и опубликовано соответствующее руководство [16].

БИБЛИОГРАФИЯ

- [1] The future of GSM-R? 11th November 2015 <http://www.railengineer.uk/2015/11/11/the-future-of-gsm-r/> Retrieved: Dec, 2016
- [2] GSM-R Functional Group, Project EIRENE Functional Requirements Specification, Version 7, Reference PSA167D005, Brussels, Belgium, 2006.
- [3] EIRENE Functional Requirements Specification, Version 7.4.0, GSM-R Functional Group, 27 April 2014.
- [4] 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
- [5] Куприяновский В. П. и др. Цифровая железная дорога-прогнозы, инновации, проекты //International Journal of Open Information Technologies. – 2016. – Т. 4. – №. 9. – С.34-43
- [6] Куприяновский В.П., Суконников Г.В., Ярцев Д.И., Кононов В.В., Снягов 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.

- [7] 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.
- [8] М.А. Шнепс-Шнеппе. О перспективах сети GSM-R для цифровой железной дороги//International Journal of Open Information Technologies. – 2016. – Т.4. – №. 12. - С.47-52.
- [9] L. Harriss. Moving Block Signalling// POSTbrief, Number 20, 26 April 2016 <http://www.parliament.uk/post>
- [10] ETSI TS 103 066 V1.1.2 (2012-04) Railway Telecommunications (RT); Rel-4 Core Network requirements for GSM-R.
- [11] В. Gschwendtner, W. Klein. GSM-R — базовая система для радиосвязи с подвижными объектами //Eisenbahningenieur, 2003, № 6, S. 44-47.
- [12] Sniady, A., Soler, J., & Dittmann, L. Communication Technologies Support to Railway Infrastructure and Operations. DTU Fotonik. 2015.
- [13] 3GPP TR 38.913. Study on Scenarios and Requirements for Next Generation Access Technologies. Dec. 2016.
- [14] Ai B. et al. Future railway services-oriented mobile communications network //IEEE Communications Magazine. – 2015. – Т. 53. – №. 10. – С. 78-85.
- [15] Operational Requirements for GSM-R Radio <https://www.rssb.co.uk/rgs/standards/RIS-3780-TOM%20Iss%201.PDF> Retrieved: Dec, 2016
- [16] GSM-R Handbook <https://www.rssb.co.uk/rgs/rulebooks/RS523%20GSM-R%20Iss%201.pdf> Retrieved: Dec, 2016

Digital Railway and the transition from the GSM-R network to the LTE-R and 5G-R - whether it takes place?

Manfred Sneps-Sneppe, Natalia Fedorova, German Sukonnikov, Vasily Kupriyanovsky

Abstract— The article is devoted to the construction of a digital railway. The article discusses in detail the implementation of railway signaling. Further, the paper considers the communication network GSM-R, its basic idea, services, and architecture. The paper also covers the basics of LTE and 5G networks, provides a comparison of GSM-R and LTE networks, discussed collaborative tasks for GSM-R networks, LTE-R and 5G-R. The main conclusion is that, given the diversity of train services and scenarios, the architecture of the corresponding mobile communication network should be heterogeneous including various types of access networks operating in different frequency bands and distributed in several frequency bands, several scenarios, and different requirements for mobile network coverage.

Keywords— digital railway, GSM-R, LTE, 5G.