

# О перспективах сети GSM-R для цифровой железной дороги

М.А. Шнепс-Шнеппе

**Аннотация**— В работе рассматривается мобильная сеть коммутации каналов GSM-R как основа цифровой железной дороги и ее перспективы в конкуренции с сетями пакетной коммутации LTE и 5G. Показана роль телефонной сигнализации SS7 и архитектуры интеллектуальных сетей. Большое внимание уделено продолжающемуся на практике единоборству систем на базе коммутации каналов и коммутации пакетов. Приводится сравнение сети GSM-R с правительственной сетью США DRSN. Сформулированы задачи российских связистов.

**Ключевые слова**— цифровая железная дорога; сеть GSM-R; LTE; 5G; DRSN

## I. ВВЕДЕНИЕ

Перед связистами всего мира стоит одна и та же задача – как перейти от коммутации каналов (КК) к коммутации пакетов (КП). Операторы связи уже взяли ориентацию на “All-over-IP” с надеждой заработать на мультимедийных услугах. А главным, заинтересованным «игроком» на этом поле смены парадигмы телекоммуникаций является, прежде всего, индустрия: производители оборудования коммутации пакетов собираются заработать многие миллиарды долларов и платят инженерам и журналистам многие миллионы за популяризацию новой парадигмы. Но жизнь вносит коррективы в этом стремлении к наживе. Накапливаются факты о том, что обе технологии – КК и КП – будут еще долго сосуществовать и ставят под сомнения саму целесообразность смены парадигмы телекоммуникаций.

В настоящей статье обсуждаются трудности, которые имеются на пути перехода от КК к КП в области цифровых железных дорог. Происходит противоборство между сторонниками сети GSM-R, которая является очень успешной реализацией техники коммутации каналов, и разработчиками новых сетей пакетной коммутации LTE и 5G, которые агрессивно прорываются на рынок, хотя стандарты этих новых сетей пока еще далеки от зрелости, тем более от применений на железных дорог, где требуется высокий уровень надежности связи.

Состояние техники связи обсуждается на конференциях Международного союза

железнодорожников UIC, которые проводится 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, которые используют широкополосные каналы радиосвязи. Касались и технологии будущих систем пакетной коммутации LTE и 5G, которые могут прийти на смену GSM-R.

Хорошей новостью для железнодорожной отрасли является заверение в том, что разработчики стандарта GSM-R обещают поддерживать системы GSM-R до 2030 года. Состояние успехов внедрения GSM-R иллюстрировали опытом Китая и Австрии, где сети GSM-R начали строить 10 лет назад – в 2006 году. По состоянию на 2015 год, Китай имел самую большую сеть GSM-R в мире – 33750 км, в 10 раз больше, чем в Австрии, которая имела только 3200 км.

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 нестандартизованных интерфейсов и непригодна 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.

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

Статья получена 28 октября 2016.

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

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 [2-4]. Далее, в разделах 2 и 3 рассмотрены планы скоростных дорог в Европе и их построение на базе сетей GSM-R. В разделе 4 приведено сравнение сети GSM-R с правительственной сетью США DRSN, как пример конкуренции между сторонниками коммутации каналов и коммутации пакетов. В разделе 5

сформулированы ближайшие задачи российских связистов в области технологии GSM-R.

## II. ПЛАНЫ СКОРОСТНЫХ ДОРОГ В ЕВРОПЕ

Меморандум о взаимопонимании, подписанный в 2008 году в Риме, между Европейской комиссией и Европейскими железнодорожными ассоциациями, является фундаментальным ориентиром для развития скоростных дорог в Европе. Эти дороги строятся на базе единой Европейской системы управления железнодорожным движением (European Railway Traffic Management System, ERTMS), которая состоит из двух частей:



Рис. 1. Планы шести коридоров скоростных дорог в Европе

1) Европейская система управления движением поезда (European Train Control System, ETCS), стандарт для управления движением в кабине поезда, 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 [5].

В Европе строится шесть коридоров скоростных дорог (рис. 1): A) Rotterdam – Genova, B) Stockholm – Napoli, C) Antwerpen – Lyon, D) Valencia – Budapest, E) Dresden – Constanta, F) Aachen – Terespol. Эти шесть грузовых коридоров ERTMS представляют всего около 6% от европейской железнодорожной сети, но несут около 20% железнодорожных перевозок в Европе.

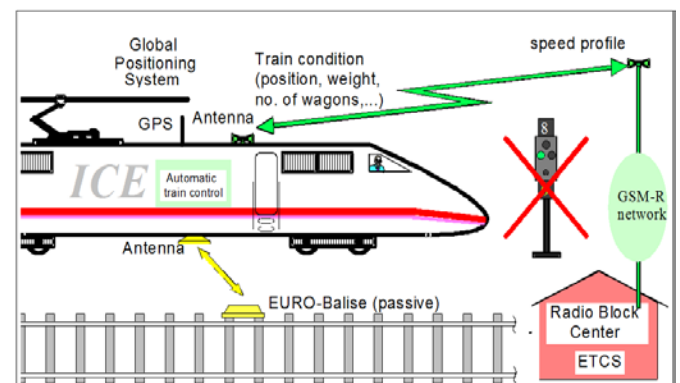


Рис. 2. Европейская система управления движением поезда ETCS

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

1) компьютер Eucosab в кабине машиниста, 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) Eurogadio, система непрерывной радиосвязи между поездом и центром управления по сети GSM-R.

### III ОСНОВЫ GSM-R

Три основных узла мобильной сети GSM-R (рис. 3) – это:

- 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.

Узлы сети GSM-R общаются по протоколам SS7, MAP и CAP. 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.

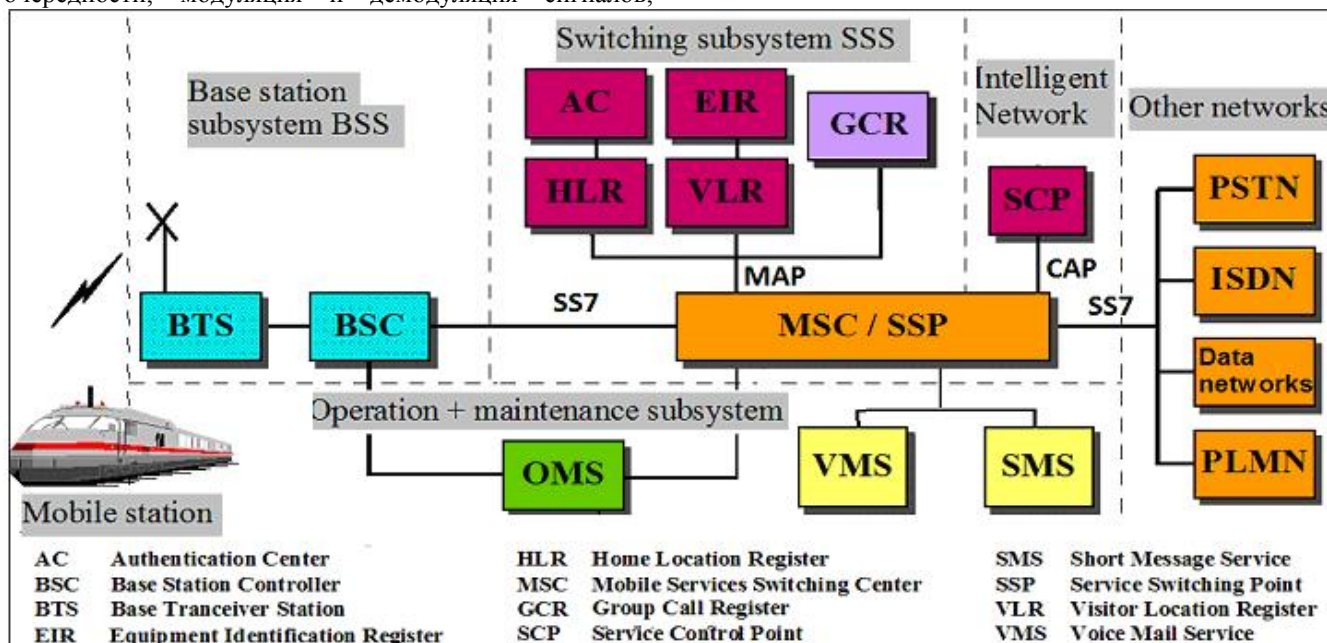


Рис. 3. Схема архитектуры сети GSM-R [6]

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.

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.

Наиболее сложно реализовать интеллектуальные вызовы:

- функциональная адресация (Functional Addressing, FA) – вызов диспетчером абонента, о котором известна только его функция, например, вызов от диспетчера к машинисту 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.

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).

### IV ПРОТИВОБОРСТВО МЕЖДУ КК И КП НА СЕТИ DISN

Вспользуемся историей развития глобальной сети связи DISN (Defense Information System Network) оборонного ведомства США – крупнейшей в мире ведомственной сети связи. Обратим особое внимание на использование в этой сети разработок института Bell Labs, что иллюстрирует противоборство сторонников КК и КП.

В статье [7] мы рассматривали тридцатилетний период развития телекоммуникаций на примере сети DISN. Так как на сети DISN применяются самые



современные решения, то развитие этой сети, в некотором роде, предсказывает будущее средств связи в мире.

Отметим, что протоколы телефонной сигнализации SS7 разрабатывались в Bell Labs, начиная с 1975 года, и в 1981 году были определены как стандарты МСЭ. Следующим шагом была разработка интеллектуальной сети IN. Это сеть связи, позволяющая предоставлять дополнительные телекоммуникационные услуги, в том числе, управляемые абонентом. История внедрения дополнительных услуг в современном понимании IN началась с "Услуги 800". Путь к созданию IN был долгим. Прошло 25 лет до того, как в Bell Labs разработали и в 1982 году запустили в серию электронную АТС 5ESS, в которой реализованы принципы интеллектуальной сети и большой набор услуг Capabiliy Set 1 (CS1).

В те же 80е годы в мире разрабатывалась сеть ISDN (Integrated Services Digital Network) – цифровая сеть с интеграцией служб. ISDN позволяет совместить услуги телефонной связи и обмена данными. Концепция ISDN возникла в Японии. В 1984 в Японии построили первую сеть ISDN и подготовили международный стандарт. В 1988 году МСЭ опубликовал стандарт ISDN.

Эти три технологии – SS7, IN и ISDN – являются высшим достижением эры коммутации каналов.

Переходим к истории развития сети DISN. В 1996 году в Пентагоне утвердили «Joint Vision 2010» – план стратегического развития военных ведомств США на 15-летний, в том числе план развития DISN. Оборонная сеть DISN разрабатывается с начала 1990-х. Это – глобальная сеть. Ее назначение – предоставлять услуги по передаче различных видов информации (речь, данные, видео, мультимедиа) для эффективного и защищенного управления войсками, связью, разведкой и РЭБ.

Когда же стали выполнять план «Joint Vision 2010», вскрылось множество недостатков сети DISN. Прежде всего, это – низкий уровень интеграции многих сотен сетей, входящих в состав DISN, что существенно ограничивает взаимодействие в рамках единой сети и препятствует эффективному единому управлению всеми ее ресурсами.

В условиях технологической неопределенности оборонное ведомство приняло принципиальное решение – строить военные сети связи США с использованием «открытой архитектуры» и программно-аппаратных средств коммерческого назначения. В результате выбор пал на «старые» разработки Bell Labs, точнее, на протокол телефонной сигнализации SS7 и на интеллектуальную сеть (Advanced Intelligent Network, AIN). Заметим, что к тому времени институт Bell Labs давно (15 лет назад) был ликвидирован. За те разработки Bell Labs по сигнализации SS7 и интеллектуальной сети AIN были всесторонне апробированы (и живут по сей день).

Прошло всего четыре года с появления плана «Joint Vision 2010», как лоббисты интернет-технологий убедили руководство Пентагона в обновлении программы вооружений, и в 2000 году появился

документ «Joint Vision 2020». В нем провозглашался переход к новой технологии коммутации пакетов, т.е. от сигнализации SS7 к IP протоколу. Детали плана затем прорабатывались долгие семь лет: в 2007 году издали фундаментальную программу „Global Information Grid. Architectural Vision” [8].

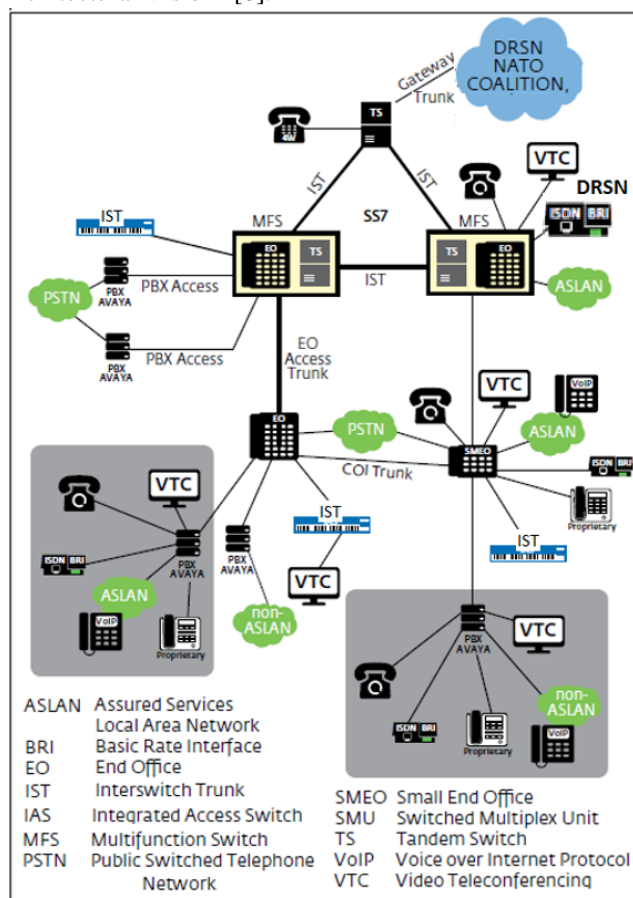


Рис. 4. Схема тестирования оборудования AVAYA на сети DISN (2012)

Как показывает рисунок 4, несмотря на призывы к переходу на IP-технологии, основу сети DISN до сих пор составляет сигнализация SS7. На рисунке изображена схема тестирования оборудования AVAYA на сети DISN в недавнем прошлом – в 2012 году [9]. Основу сети DISN составляют электронные телефонные станции MFS (MultiFunctional Switch), которые общаются по протоколу SS7. Обратим внимание на «островки» двух типов: ASLAN – секретная подсеть DISN и non-ASLAN – несекретная подсеть DISN, которые образованы вокруг PBX Avaya с подключенными «обычными» и IP-телефонами, а также терминалами видеоконференций.

Для выполнения плана «Joint Vision 2020», т.е. для перехода от сети коммутации каналов, где ныне господствует протокол SS7, к коммутации пакетов и протоколу SIP (или к его защищенной версии AS-SIP) электронные телефонные станции MFS следует заменить на программные коммутаторы MFSS (MultiFunctional SoftSwitch). Эту работу взяла на себя компания CISCO и на военных базах NATO по всему миру установила 22 крупных MFSS [10].

В настоящее время производится постепенная замена

оборудования коммутации каналов (по мере окончания их срока службы) на новое оборудования коммутации пакетов, но, что особенно важно, на правительственной сети DRSN сохраняется коммутация каналов, что указано на рис. 4 наверху справа.

Сеть DRSN (Defense Red Switch Network) – это выделенная сверхсекретная телефонная сеть, которая обеспечивает управление вооруженными силами США (рис.5). Вопреки требованиям оборонного ведомства на ней сохраняются ISDN-каналы и протоколы сигнализации ISDN PRI и CAS (Channel Associated Signaling). Сеть DRSN стала своего рода "родимым пятном" на сети DISN, строящейся по единому протоколу AS-SIP. В методических материалах по DISN [10] пока даже не предусмотрен перевод сети DRSN на коммутацию пакетов.



Рис.5. Телефон правительственной связи и схема сети DRSN

"Красный телефон" (Secure Terminal Equipment, STE) подключается к сети DISN по ISDN-линии и работает на скорости 128 кбит/с. Для передачи данных и факсимиле встроен порт RS-232. Вся криптографическая информация хранится на криптокарте (щель для карты – справа внизу на изображении телефона). А сверху справа указаны четыре кнопки для выбора приоритета. "Красные телефоны" общаются по протоколу SCIP (Secure Communications Interoperability Protocol). Это – международный протокол сил НАТО для обеспечения закрытой передачи голоса, данных и видео по множеству сетей: наземная телефонная сеть, радио военного назначения, спутниковая связь, интернет телефония, разные стандарты мобильных сетей.

## V ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Развитие телекоммуникаций показывает, что технологии коммутации каналов (КК) и коммутации пакетов (КП) будут еще долго сосуществовать, а обилие изделий коммутации каналов и особенно их надежность ставит под сомнения саму целесообразность смены парадигмы телекоммуникаций.

Состояние разработки оборудования нового поколения мобильной связи LTE и 5G показывает, что доведение этих технологий до применения на железных дорогах потребует не менее 10 – 15 лет, что не является препятствием широкого развертывания сетей GSM-R на российских железных дорогах.

С учетом требований импортозамещения и условий кибервойны целесообразно наладить в России производство базовых приемо-передающих станций BTS для сетей GSM-R и программирование услуг GSM-R.

## БИБЛИОГРАФИЯ

- [1] The future of GSM-R? 11th November 2015 <http://www.railengineer.uk/2015/11/11/the-future-of-gsm-r/>
- [2] 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.
- [3] Куприяновский В.П. и др. Цифровая железная дорога – прогнозы, инновации, проекты //International Journal of Open Information Technologies. – 2016. – Т.4. – №. 9. – С. 34-43.
- [4] 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.
- [5] European Railway Traffic Management System, ERTMS, Brussels, Belgium ([www.ertms.com](http://www.ertms.com)), 2009.
- [6] ETSI TS 103 066 V1.1.2 (2012-04) Railway Telecommunications (RT); Rel-4 Core Network requirements for GSM-R
- [7] М.А. Шнепс-Шнеппе Развитие телекоммуникаций и наследие Bell Labs: 30 лет блужданий// International Journal of Open Information Technologies. – 2015. – Т.3. – №. 11. – С. 16-24.
- [8] Global Information Grid. Architectural Vision for a Net-Centric, Service-Oriented DoD Enterprise. Department of Defense. Version 1.0 June 2007.
- [9] Special Interoperability Test Certification of Avaya S8300D. DISA Joint Interoperability Test Command (JTE), 17 April 12.
- [10] Department of Defense. Unified Capabilities Framework 2013. January 2013.

# On GSM-R prospects of digital railway

Manfred Sneys-Sneppe

***Abstract*** — In this paper, we discuss the prospects of GSM-R network as the basis for digital railway communications. We describe GSM-R prospects in the competition with packet switching LTE networks and 5G mobile networks. We discuss the role of SS7 telephone signaling and intelligent network architecture. Much attention is paid to the ongoing practice of coexistence the systems based on circuit switching and packet switching. We provide the comparison of GSM-R network to the US government network DRSN. In the conclusion, we discuss the problems of Russian signalers.

***Keywords***— digital railway; GSM-R network; LTE; 5G; DRSN