

УДК: 001.895, 629.4.05, 621.396.931, 656.3

Южнокорейский опыт внедрения железнодорожных систем управления на основе радиосвязи

South korean experience in implementing radio-based train control systems

Андреев В.Е., Начальник Департамента технической политики ОАО «РЖД»,

E-mail: AndreevVE@center.rzd.ru, Москва, Россия

Andreev V.E., Head of Technical Policy Department, JSC RZD,

E-mail: AndreevVE@center.rzd.ru, Moscow, Russia

Озеров А.В., Начальник Международного управления АО «НИИАС»,

E-mail: A.Ozerov@vniias.ru, Москва, Россия

Ozerov A.V., Head of International Department, JSC NIIAS,

E-mail: A.Ozerov@vniias.ru, Moscow, Russia



Аннотация

В последнее десятилетие железные дороги Республики Кореи усовершенствовались с точки зрения модернизации систем управления и обеспечения безопасности движения поездов. В Корее создан национальный аналог европейской системы ETCS/ERTMS уровень 2, и осуществляется поэтапный переход от традиционных систем светофорной сигнализации к автоматической локомотивной сигнализации и системе управления с использованием радиосвязи. Проведен комплекс исследований по возможности применения широкополосной системы радиосвязи LTE для ответственных приложений железнодорожных систем управления. Реализована национальная стандартизация системы радиосвязи на основе LTE для железнодорожного применения (LTE-R) по результатам тестовых испытаний, запускаются в коммерческую эксплуатацию участки, оборудованные корейской системой управления KTCS-2, в которой для передачи ответственных данных используется система LTE-R. Реализуется долгосрочный план внедрения системы KTCS-2 на сети железных дорог Кореи на период до 2029 года с целью замены систем предыдущих поколений. Тестируется применение системы радиосвязи на основе 5G.

Ключевые слова: транспорт, железные дороги Республики Корея, FRMCS, МСЖД, BCM, TETRA, LTE, LTE-R, ETCS, RBC, KTCS, 5G.

Abstract

Over the past decade, the railways of the Republic of Korea have greatly evolved in terms of development of signalling systems. The South Korean engineers developed a national analogue of the European Train Control System ETCS/ERTMS Level 2 and carry out a phased transition from legacy traffic light signalling systems to automatic cab signalling and radio-based train control system. A set of studies on the possibility of implementing a broadband LTE radio communication system for critical applications of train control systems has been carried out in South Korea. The LTE-based radio communication system for railway applications (LTE-R) has been standardized at the national level based on results of tests, and sections equipped with the Korean KTCS-2, which uses the LTE-R system for critical data transmission, are being put into commercial operation. A long-term plan for the implementation of KTCS-2 on South Korean railways for the period up to 2029 is being realized to replace legacy signalling systems. The application of a 5G-based radio communication system is being tested.

Keywords: transport, railways of the Republic of Korea, FRMCS, МСЖД, BCM, TETRA, LTE, LTE-R, ETCS, RBC, KTCS, 5G.



Введение

В статье [1] журнала «Наука и технологии железных дорог» рассмотрены предпосылки и общие вопросы разработки нового стандарта железнодорожной радиосвязи FRMCS, а также приведен обзор некоторых проектов в области тестирования радиосвязи нового поколения LTE/5G в системах управления движением поездов (СУДП) на пилотных участках разных стран, в первую очередь европейских стран. В настоящей статье предлагается более подробный обзор южнокорейского опыта, который имеет свои специфические черты.

Республика Корея входит в клуб стран высокоскоростного железнодорожного движения. По данным МСЖД, с 2004 года в Корее введено в эксплуатацию 5 участков высокоскоростных магистралей (ВСМ) общей протяженностью 873 км. Максимальная скорость движения составляет 250 и 305 км/ч в зависимости от участков. На участках ВСМ используются локомотивная сигнализация и система автоблокировки на основе рельсовых цепей длиной 1,5 км, являющаяся адаптацией французской системы TVM-430 [2]. На Рис. 1 показана схема сигнализации на ВСМ Кореи, традиционная для системы TVM.

Для поездной радиосвязи на всей сети железных дорог традиционно используются аналоговые системы радиосвязи, работающие в УКВ-диапазоне на частоте 150 МГц, в том числе на участке ВСМ Сеул-Тондэгу. На других участках высокоскоростных железных дорог развернуты цифровые транкинговые системы TRS-ASTRO и TETRA с интегрированной передачей голоса и данных на частоте 800 МГц.

Как видно из Таблицы 1, система TETRA применяется более широко, чем система ASTRO, при этом следует отметить, что на ВСМ Кёнбу, объединяющей участки Сеул-Тондэгу и Тондэгу-Пусан, локомотивная бригада вынуждена пользоваться тремя разными мобильными радиостанциями. С 2017 года на участках ВСМ также строится инфраструктура системы радиосвязи LTE-R.

Отдельно, для информирования машинистов об инцидентах и опасных ситуациях на путях, также используется система технологической радиосвязи TRPD (Train Radio Protection Device) в диапазоне частот 400 МГц. На Рис. 2 показаны диапазоны частот и системы технологической радиосвязи, применяемые на железных дорогах Кореи в диапазоне до 1 ГГц [3]. Дополнительно также исследуются возможности систем радиосвязи свыше 1 ГГц, но это не является предметом настоящей статьи.

С появлением в странах ЕС стандарта ETCS/ERTMS в начале 2000-х годов, железные дороги Кореи также взяли курс на внедрение систем управления на основе радиосвязи, совместимых с европейской системой ETCS. Была осуществлена локализация производства компонентов системы ETCS – в первую очередь, модуля приема телеграмм бализ (BTM) и бортового устройства безопасности EVC (European Vital Computer, который в Корее был переименован в KVC – Korean Vital Computer), а в дальнейшем и центра радиоблокировки RBC.

В 2010 году в Корее был утвержден национальный план стандартизации систем управления и обеспечения

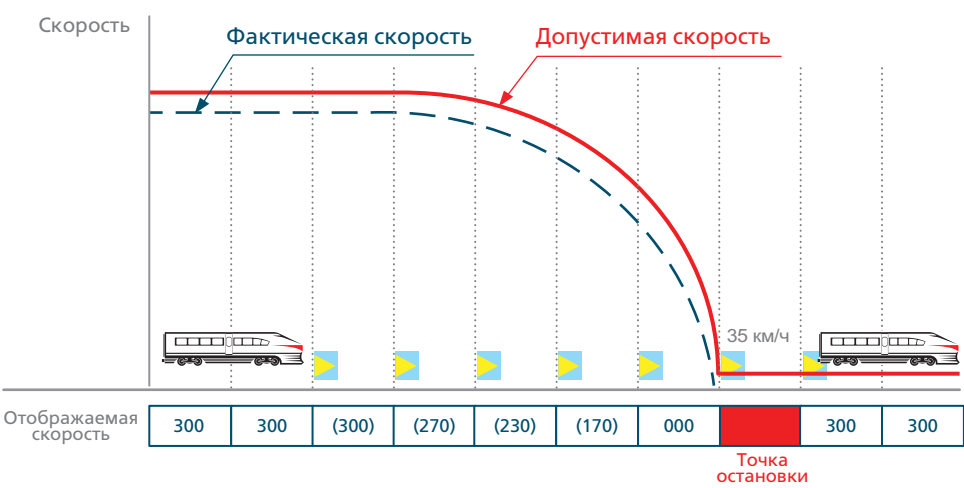


Рисунок 1. Схема локомотивной сигнализации на ВСМ

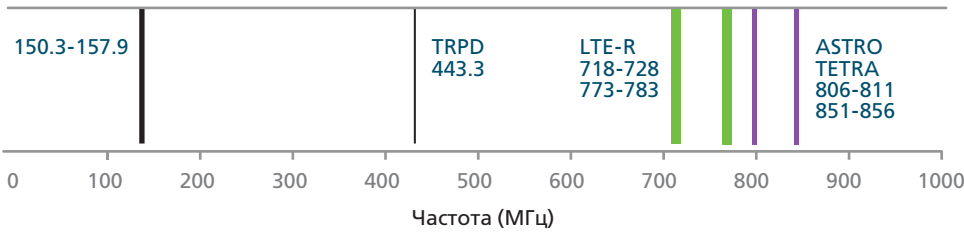


Рисунок 2. Диапазоны частот технологической радиосвязи железных дорогах Кореи

Таблица 1. Оснащенность участков ВСМ системами технологической радиосвязи

Участок ВСМ	Год	Протя- женность, км	Макс. скорость, км/ч	150 МГц	ASTRO	TETRA	LTE-R
Сеул-Тондэгу	2004	268	305	✓			
Тондэгу-Пусан	2010	131	305		✓		
Осон-Кванджу	2015	184	305			✓	
Сосо-Пёнтхек	2016	61	305			✓	
Сеул-Каннын	2017	230	250			✓	✓

безопасности движения поездов. План включал разработку оборудования системы управления и системы радиосвязи для выделенных частот. На первом этапе (2011-2014 гг.) под нужды железнодорожных дорог были выделены частоты в диапазоне 700 МГц, а в качестве технологии беспроводной связи был выбран и протестирован в лабораторных условиях стандарт LTE.

На втором этапе (2015-2018 гг.) была развернута и протестирована сеть LTE на отдельных участках железных дорог, включая ВСМ, а в рамках подготовки к Зимним Олимпийским играм 2018 года в г. Пхёнчхане на развернутой инфраструктуре LTE был запущен участок ВСМ Вонджу-Каннын (Wonju-Gangneung) со скоростью движения поездов 250 км/ч. Данный участок стал первым в мире участком ВСМ с системой управления на основе технологии LTE. На участке были реализованы технологические беспроводные услуги: передача данных со скоростью до 75 Мбит/с, видеосвязь, голосовые сообщения между диспетчером и машинистом, а также возможность групповых вызовов.



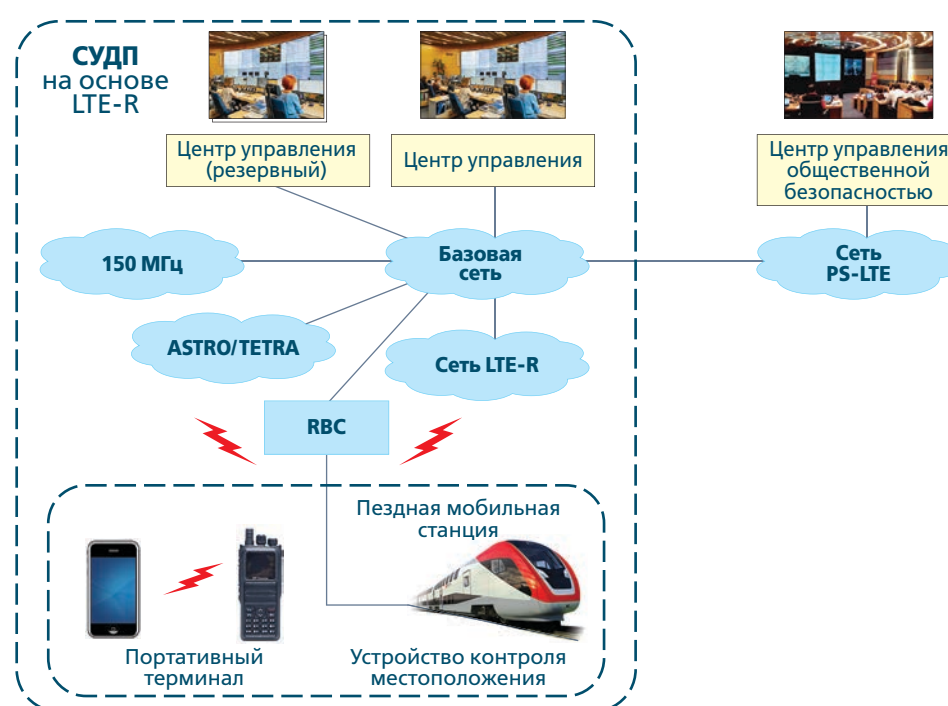


Рисунок 3. Схема взаимодействия в рамках СУДП на основе LTE-R

Одновременно с тестированием велась стандартизация системы радиосвязи LTE для железнодорожного применения (LTE-R) в составе национальной системы KTCS-2 (иногда встречается название KRTCS-2, подчеркивающее, что управление в системе осуществляется на основе использования радиосвязи).

Ассоциацией телекоммуникационных технологий Кореи (TTA) был принят и введен в действие ряд отраслевых стандартов в области применения технологии LTE-R:

- «Пользовательские требования к системе железнодорожной радиосвязи на базе LTE» – LTE based Railway Communication System User Requirements (TTAK.KO-06.0370, 2014);
- «Функциональные требования к системе железнодорожной радиосвязи на базе LTE» – LTE based Railway Communication System Functional Requirements (TTAK.KO-06.0369, 2014);
- «Требования к системе железнодорожной радиосвязи на базе LTE (Обычная и высокоскоростная железная дорога)» – LTE based Railway Communication System Requirements (Conventional and High Speed Railway) (TTAK.KO-06.0437, 2016);
- «Архитектура системы железнодорожной радиосвязи на базе LTE» – LTE based Railway Communication System Architecture (TTAK.KO-06.0438, 2016).

Также были разработаны и утверждены требования к проведению испытаний LTE-R и методам обеспечения интероперабельности с существующими системами технологической радиосвязи (150 МГц, TRS-ASTRO/TETRA) (LTE based Railway Communication System Performance Test Specification (TTAK.KO-06.0458, 2017), Specification of Interoperability Methods between LTE Based Railway Communication systems and existing communication systems (VHF, TRS-ASTRO/TETRA) (TTAK.KO-06.0457, 2017). К сожалению, большая часть этих стандартов представлена на сайте TTA только на корейском языке.

Согласно стандарту TTAK.KO-06.0437 [4], доступному на английском языке, система радиосвязи LTE-R предоставляет услуги передачи голоса, данных и видео, исполь-

зуя информацию об абоненте и информацию о качестве обслуживания. Услуга передачи ответственных данных имеет наивысший приоритет и предоставляется в целях обеспечения безопасности движения поезда путем непрерывного обмена данными между центром управления и поездной радиостанцией. Сообщения, передаваемые поездной радиостанцией, содержат данные о координате и текущей скорости поезда, длина сообщений обычно не превышает 64 байт.

Доставка сообщений с разрешением на проследование от центра радиоблокировки RBC до поездной радиостанции должна происходить с задержкой не более 300 мс при движении поезда со скоростью до 350 км/ч. Время установления сеанса связи должно быть менее 1 секунды, а вероятность успешного установления сеанса связи должна быть более 99% при движении поезда со скоростью до 350 км/ч.

Система LTE-R интегрирована с сетями технологической радиосвязи 150 МГц и TRS-ASTRO/TETRA, а также с сетью мобильной связи PS-LTE для обеспечения общественной безопасности (Public Security). Например, в случае экстренной ситуации машинист может нажать тревожную кнопку, инициировав групповой сеанс связи с поездным диспетчером и лицом, отвечающим за общественную безопасность, что будет зафиксировано в центре радиоблокировки и в центре управления общественной безопасностью PS-LTE. Данная функция также имеет наивысший приоритет обслуживания.

Общая схема взаимодействия в рамках системы управления движением поездов (СУДП) на основе LTE-R представлена на Рис. 3.

В 2015 году администрацией железнодорожной сети Korea National Railway (в прошлом KRNA) был создан испытательный полигон протяженностью 34,3 км для определения возможности использования стандарта LTE-R. Полигон состоит из двух участков высокоскоростной линии Хонам. Первый участок, длиной 28 км, расположен между станциями Иксан и Чонып (с испытательным центром на станции Чонып) и включает три тоннеля >>>

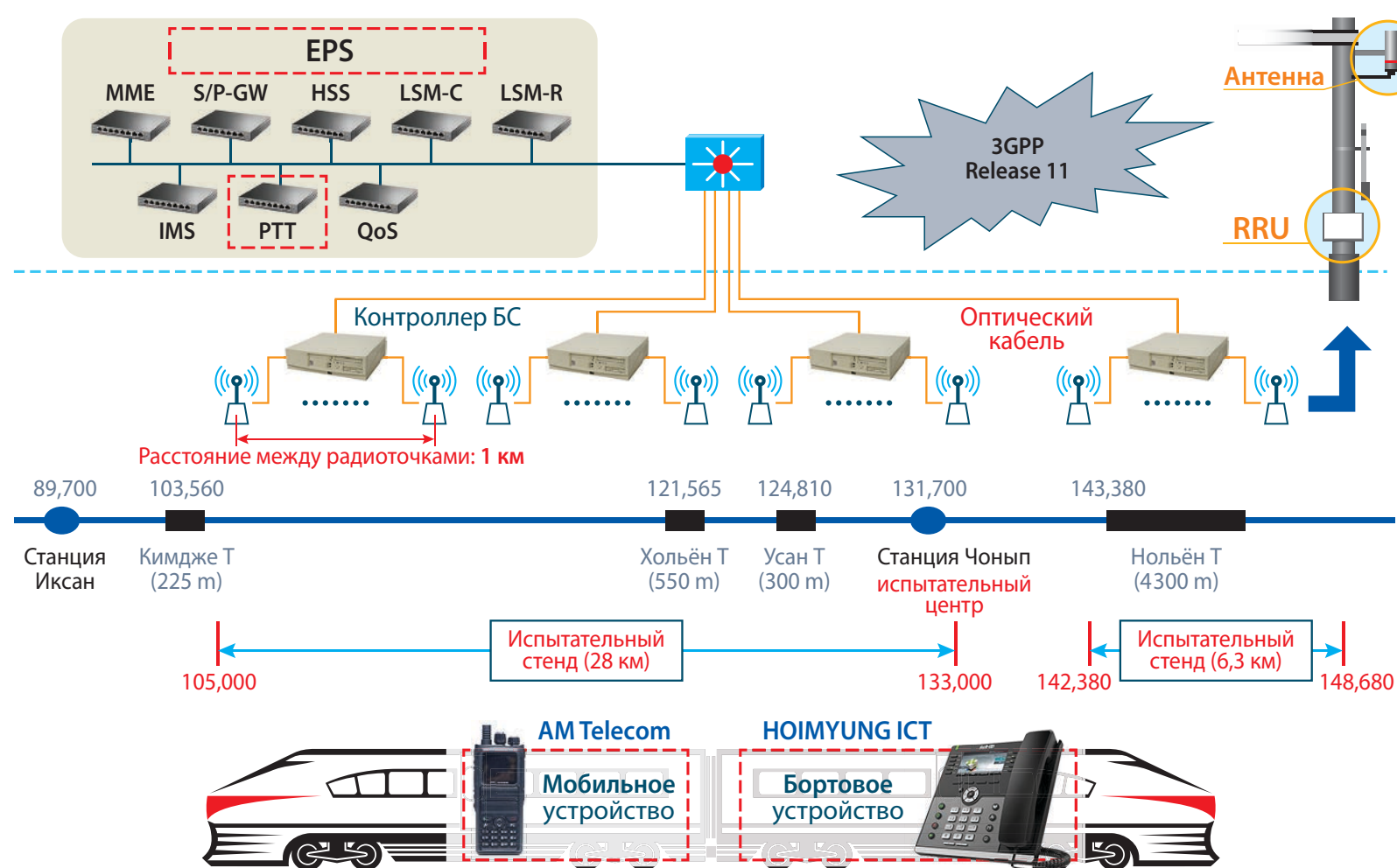


Рисунок 4. Конфигурация испытательного полигона

протяженностью от 225 до 550 м. Второй участок, длиной 6,3 км, включает тоннель Нольён протяженностью 4,3 км.

На полигоне обращаются высокоскоростные поезда KTX (Korea Train eXpress) с максимальной скоростью движения 250 км/ч. На Рис. 4 показана общая структура испытательного полигона [5].

Испытания проводились с целью проверки устойчивой работы системы радиосвязи на максимальных скоростях движения с учетом хэндовера, а также функциональной совместимости оборудования разных производителей.

С 2016 по 2018 года системе управления на основе LTE-R также тестировалась на участке ВСМ Вонджу-Каннин. Протяженность участка связи LTE-R составляет 120 км, включает 7 станций, 234 единицы оборудования радиодоступа, 545 устройств мобильной связи (смартфоны и цифровые рации с селектором).

Основными подрядчиками по указанным пилотным проектам выступили компании стали компании Samsung, Nokia, AM Telecom, ELUON, COVADA, IPAGEON, HOIMYUNG ICT.

Основным поставщиком оборудования LTE-R для сети железных дорог Кореи является компания Samsung. По данным компании, правительство Кореи планирует увеличить протяженность сети LTE-R к 2025 году примерно до 5 600 км при общей протяженности сети железных дорог около 9 400 км [6].

Общая структура перспективной системы технологической радиосвязи на железных дорогах Кореи представлена на Рис. 5.

По данным Министерства земли, инфраструктуры и транспорта, в апреле 2022 года на участке ВСМ Ик-

сан-Йосу протяженностью 180 км впервые введена в коммерческую эксплуатацию система KTCS-2 на базе LTE-R, предусматривающая возможность движения поездов на скоростях до 350 км/ч. По заявлению Министерства, все компоненты технологии KTCS-2 полностью локализованы.

К 2029 году планируется поэтапная замена всех систем сигнализации на сети железных дорог Кореи национальной системой управления KTCS-2 на основе LTE-R.

До 2027 года предусмотрен поэтапный перевод технологической радиосвязи на стандарт LTE-R, как на линиях ВСМ, так и на обычных линиях. Согласно планам Министерства, частоту 800 МГц со временем планируется отдать под другие нужды. При этом на уже оборудованных участках радиосвязь LTE-R рассматривается как основная для систем управления, а системы радиосвязи 150 МГц и ASTRO/TETRA на текущий момент – как резервные каналы радиосвязи.

В Республике Корея также проводятся испытания системы автоматизированного управления движением поездов на базе стандарта 5G. Например, в 2020 году на опытном полигоне Корейского научно-исследовательского института железнодорожного транспорта KRII в Осоне при участии национального оператора сотовой связи SK Telecom реализовано пилотное тестирование с использованием двух экспериментальных вагонов. Испытания стали частью девятилетней (рассчитанной до 2024 г.) государственной программы в области исследований и разработки беспилотных поездов. Новая технология предполагает непрерывный обмен между поездами информацией о маршрутах движения, планируемых остановках, скорости, а также о возникающих нештатных ситуациях и реагировании на них. >>>

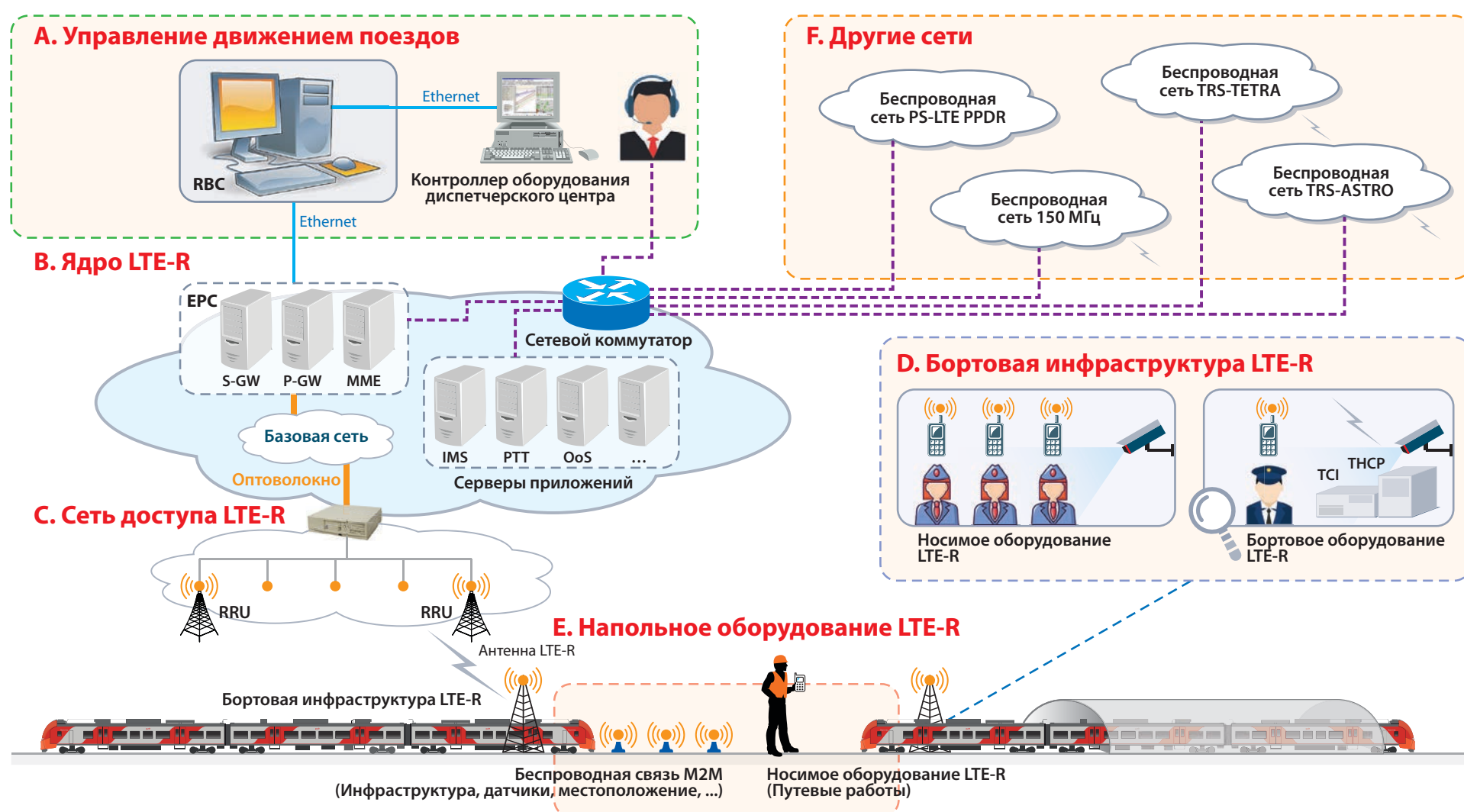


Рисунок 5. Структура перспективной системы технологической радиосвязи

В заключение следует отметить, что поступательное развитие железнодорожных технологий в Республике Корея в обозначенных областях имеет свои определенные предпосылки. Среди них следует, вероятно, отметить следующие факторы.

В Корее функционируют национальные отраслевые научно-исследовательские и опытно-конструкторские институты, финансируемые из государственного бюджета, которые занимаются разработкой и тестированием новых железнодорожных систем управления и систем радиосвязи. Это такие организации, как Корейский железнодорожный научно-исследовательский институт (KRRRI), занимающийся проведением научно-исследовательских работ, стандартизацией и сертификацией железнодорожных систем, а также Институт исследований в области электроники и телекоммуникаций (ETRI), деятельность которого включает научно-исследовательские работы в области информационно-коммуникационных технологий (ETRI осуществляет широкое сотрудничество с университетами Кореи и имеет 10 лабораторий на их базе).

Имеются также собственные производители электроники и устройств радиосвязи (LS ELECTRIC, Samsung, HOIMYUNG ICT, IPAGEON, AM Telecom и т.д.), а также производитель подвижного состава Hyundai Rotem, который обладает мощным центром перспективных разработок в области СЦБ и занимается локализацией и разработкой компонентов железнодорожных систем управления типа KTCS-2.

Приняты долгосрочные национальные программы развития железнодорожных систем управления и систем

радиосвязи (осуществляемые Министерством земли, инфраструктуры и транспорта Кореи) с государственным финансированием.

Выделяются значительные государственные средства на разработку, тестирование и стандартизацию перспективных технологий (типа LTE-R, 5G).

Ассоциация телекоммуникационных технологий Республики Корея (ТТА) осуществляет активную работу по тестированию, сертификации и стандартизации решений железнодорожного применения в области телекоммуникаций.

Государственный оператор инфраструктуры Korea National Railway активно внедряет инновационные решения и финансирует их тестирование на своих тестовых полигонах.

Важнейшим драйвером перехода на систему управления на основе радиосвязи является развитие высокоскоростного движения в Республике Корея.

Рассмотренный опыт имеет свою национальную специфику, но может представлять определенный интерес для Российских железных дорог в рамках изучения возможных подходов к дальнейшему развитию систем интервального регулирования. Особо стоит отметить, что перспективная корейская KTCS-2 строится как гибридная система управления, в которой используются как интегрированная цифровая мобильная связь с резервированием конвенциональными средствами технологической радиосвязи, так и рельсовые цепи. Как известно, данный принцип положен в основу отечественного подхода и реализован в российской системе управления движением поездов РСУДП. ■

Список литературы

1. Озеров, А. В. Железнодорожная радиосвязь нового поколения / А. В. Озеров, А. П. Куроптева // Наука и технологии железных дорог. – 2023. – Т. 7, № 1(25). – С. 17-24.
2. Táuler, Á. High-Speed Rail 2022 Atlas / Á. Táuler, S. Martín, M. Benito. – 4th Edition. – France: International Union of Railways (UIC), 2022.
3. Current and future usage of railway radiocommunication systems between train and trackside. Report ITU-R M.2442-0 (11/2018). [Электронный ресурс] / URL: https://www.itu.int/dms_pub/itu-r/opb/rep/R-REP-M.2442-2019-PDF-E.pdf (дата обращения: 24.04.2023).
4. The World's First LTE-R for 250 km/h High-Speed Railway in Republic of Korea // Korea Rail Network Authority. – South Korea, 2018. [Электронный ресурс] / URL: https://www.itu.int/dms_pub/itu-r/oth/0a/0E/R0A0E0000C40001PDFE.pdf (дата обращения: 24.04.2023).
5. ТТАК.КО-06.0437. LTE based Railway Communication System Requirements (Conventional and High Speed Railway). [Электронный ресурс] / URL: http://www.tta.or.kr/eng/new/standardization/eng_ttastddesc.jsp?stdno=ТТАК.КО-06.0437 (дата обращения: 27.04.2023).
6. Korea's First LTE-Railway Network Starts Official Service Base on Joint Efforts of Samsung and SK Telecom, 2017. [Электронный ресурс] / URL: <https://news.samsung.com/global/koreas-first-lte-railway-network-starts-official-service-base-on-joint-efforts-of-samsung-and-sk-telecom> (дата обращения: 02.05.2023).