

Д. Н. Роенков, П. А. Плеханов, В. В. Шматченко

СИСТЕМЫ РАДИОСВЯЗИ ВЫСОКОСКОРОСТНОГО ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА

Дата поступления: 10.07.2017

Решение о публикации: 17.07.2017

Аннотация

Цель: Рассмотрение основных подходов к организации радиосвязи на высокоскоростном железнодорожном транспорте, определение требований к функциональным возможностям и структуре систем радиосвязи. **Методы:** Использован анализ современной международной и отечественной практики в области построения беспроводных телекоммуникационных систем для железнодорожного транспорта на основе концепции применения комплекса взаимосвязанных показателей надежности, готовности, ремонтпригодности, безопасности (Reliability, Availability, Maintainability and Safety – RAMS) и стоимости (Life Cycle Cost – LCC) на всех этапах жизненного цикла транспортных систем. **Результаты:** В качестве основного стандарта для организации цифровой системы технологической радиосвязи для высокоскоростных магистралей выбран стандарт GSM-R, что обусловлено его разработкой специально для нужд железнодорожного транспорта и тем, что он является основой для построения Европейской интегрированной железнодорожной радиосети с расширенными возможностями EIRENE (European Integrated Railway Radio Enhanced Network). Вместе с тем установлено, что наиболее перспективным стандартом беспроводной связи для железнодорожного транспорта может стать стандарт LTE (LTE-R) – пропускная способность систем данного стандарта, возможности их применения для решения всего круга задач, стоящих перед железнодорожной радиосвязью (включая задачи обеспечения клиентской радиосвязи), позволят заменить несколько разных систем радиосвязи, решающих отдельные функциональные задачи, одной, более удобной и надежной. В то же время мировой и отечественный опыт применения стандарта на железнодорожном транспорте (включая высокоскоростные магистрали) пока недостаточен, а стоимость его оборудования заметно выше, чем у стандарта GSM-R. **Практическая значимость:** Сформулированы требования к функциональным возможностям и структуре систем радиосвязи для высокоскоростных железнодорожных магистралей, включая требования к цифровым системам технологической радиосвязи (основной и резервной), системе технологической ремонтно-оперативной радиосвязи и цифровой беспроводной системе передачи данных. Определенные стандарты радиосвязи позволяют реализовать эти требования.

Ключевые слова: Высокоскоростной железнодорожный транспорт, железнодорожная радиосвязь, цифровые системы технологической радиосвязи, поездная радиосвязь, EIRENE GSM-R, DMR, LTE (LTE-R).

***Dmitriy N. Royenkov**, Cand. Eng. Sci., associate professor; ***Pavel A. Plekhanov**, Cand. Eng. Sci., associate professor; **Vladimir V. Shmatchenko**, Cand. Eng. Sci., associate professor (Emperor Alexander I St. Petersburg State Transport University) RADIO COMMUNICATION SYSTEMS HIGH-SPEED RAILWAY TRANSPORT

Summary

Objective: To study the main approaches to organization of radio communication on high-speed railroad transport, to determine the requirements for functional capabilities and the structure of radio communication systems. **Methods:** The analysis of modern international and home practice in the sphere of radio telecommunication systems was applied for railway transport, on the basis of application strategy of interconnected indices' complex, including reliability, availability, maintainability and safety (Reliability, Availability, Maintainability and Safety – RAMS) and cost (Life Cycle Cost – LCC) at all stages of transportation systems' life cycle. **Results:** GSM-R standard was chosen as the basic one for organization of digital systems of engineering radio communication for high-speed mainlines. The choice was conditioned by the fact that the standard in question was developed for the purposes of railroad transport and is the basis for constructing European integrated railway radio enhanced network EIRENE (European Integrated Railway Radio Enhanced Network). Moreover, it was established that the most promising standard of radio communication for railway transport might be LTE (LTE-R) standard. Communication system capacity of the given standard, its applicability for the solution of the extensive range of railway radio communication tasks (including the task of providing customer radio communication) will make it possible to replace several different radio communication systems, solving specific functional tasks, by one which is more convenient and reliable. However, global and domestic experience of the standard in question application on railroad transport (including high-speed mainlines) has yet been insufficient, while the cost of LTE equipment is significantly higher compared to GSM-R standard. **Practical importance:** The requirements for functionality and structure of radio communication systems for high-speed networks were stated, including the requirements for digital systems of engineering radio communication (basic and reserved), the system of engineering on-line repair radio communication and digital wireless data communication system. Certain standards of radio communication allow for the realization of the given requirements.

Keywords: High-speed railway transport, railway radio communication, digital systems of engineering radio communication, radio train communication, EIRENE GSM-R, DMR, LTE (LTE-R).

Наличие качественной радиосвязи – обязательное условие организации перевозок на высокоскоростных железнодорожных магистралях (ВСМ) [1, 2]. Современные системы управления движением поездов ВСМ используют как голосовую радиосвязь, так и передачу данных для информационно-управляющих систем (ИУС). Обеспечение надежной радиосвязи при эксплуатационных скоростях движения поездов до 400 км/ч является нетривиальной задачей, поскольку практический опыт эксплуатации современных систем подвижной связи на столь высоких скоростях, на которых возможны отрицательное влияние эффекта Доплера, а также возникновение проблем передачи соединения (хэндовера), пока недостаточен [3, 4].

Для обеспечения решения всех задач, связанных с обменом информацией между наземной инфраструктурой и подвижным составом ВСМ, железнодорожная радиосвязь должна включать (рис. 1):

– цифровые системы технологической радиосвязи (ЦСТР): основная – стандарта GSM-R, резервная – стандарта DMR;

– систему технологической ремонтно-оперативной радиосвязи (РОРС) на базе сетей подвижной связи коммерческих операторов: по данным радиосетям может передаваться только информация, не связанная с безопасностью движения поездов;

– цифровую беспроводную систему передачи данных (БСПД) для ИУС.



Подвижной состав должен быть оснащен следующими средствами радиосвязи:

- радиостанциями передачи речи с приемопередатчиками диапазонов 900 МГц (стандарт GSM-R), 160 МГц (стандарт DMR и аналоговая радиосвязь);
- радиостанциями для организации РОРС на базе сетей подвижной связи коммерческих операторов;
- радиостанциями передачи данных для работы ИУС

Для обеспечения работы систем управления движением поездов, а также иных систем, требующих определения местоположения подвижного объекта, **подвижной состав должен быть оснащен модулями ГЛОНАСС/GPS**

Рис. 1. Состав систем железнодорожной радиосвязи на GSM

ЦСТР стандарта GSM-R (рис. 2), являясь основной, должна обеспечивать при скоростях движения до 400 км/ч выполнение следующих основных функций:

– организацию поездной радиосвязи (ПРС) с использованием индивидуальных, групповых и циркулярных вызовов абонентов: поездных и энергодиспетчеров, машинистов поездов и специального подвижного состава, дежурных по станциям и по депо, начальников поездов и других работников, участвующих в выполнении поездной работы;

– организацию беспроводных каналов передачи данных для ИУС управления движением поездов и обеспечения безопасности движения.

Выбор стандарта GSM-R в качестве основного для организации ЦСТР связан с тем, что он был разработан специально для нужд железнодорожного транспорта и служит базой для построения Европейской интегрирован-

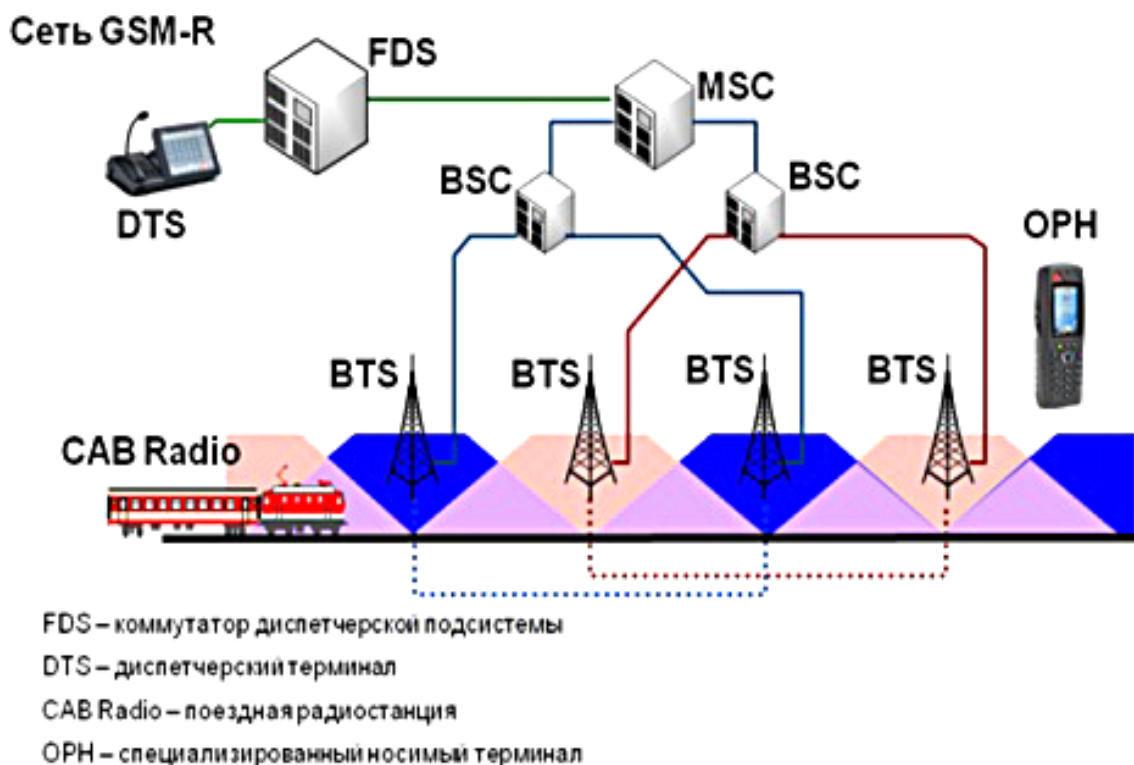


Рис. 2. Архитектура сети радиосвязи стандарта GSM-R

ной железнодорожной радиосети с расширенными возможностями EIRENE (European Integrated Railway Radio Enhanced Network) – европейского проекта, целью которого является разработка требований железных дорог Европейского союза к сетям железнодорожной радиосвязи (рис. 3).



Рис. 3. Структура документов проекта EIRENE

В рамках данного проекта были выпущены два основополагающих документа, определяющих функциональные (Functional Requirements Specification – FRS) и технические (System Requirements Specification – SRS) требования к системе GSM-R.

Цифровая система технологической радиосвязи стандарта DMR (диапазон 160 МГц) является резервной системой ПРС, а также основной системой стационарной радиосвязи (СРС). В связи с тем, что на данный момент отечественный и международный практический опыт использования ЦСТР стандарта DMR на скоростях до 400 км/ч отсутствует, применение ЦСТР стандарта DMR в качестве резервной системы ПРС должно осуществляться со снижением скорости движения до значений, для которых гарантировано обеспечение заданных требований к каналам ПРС. ЦСТР стандарта DMR также должна обеспечивать возможность передачи данных в ИУС.

В ЦСТР GSM-R или DMR должно быть предусмотрено предоставление следующих услуг связи [5]:

- услуги передачи речи;
- услуги передачи данных;
- дополнительные услуги – например, управление вызовами и приоритетами;
- услуги связи, обусловленные железнодорожной спецификой – например, прямой вызов (связь между двумя мобильными терминалами напрямую без использования сетевой инфраструктуры).

При этом услуги передачи речи должны включать:

- индивидуальный вызов для дуплексного соединения;
- экстренный вызов;
- широковещательный вызов;
- групповой вызов с возможностью предоставления одному абоненту нескольких групповых номеров (в любой момент времени говорить может только один абонент);
- вызов конференц-связи (все могут говорить и слушать одновременно).

Услуги передачи данных должны обеспечивать:

- передачу текстовых сообщений;
- передачу данных с коммутацией каналов;
- передачу данных с коммутацией пакетов;
- передачу ответственных данных в контуре безопасного управления движением поездов (передача данных о состоянии бортовых систем поезда и передача команд управления на поезд).

Кроме услуг передачи речи и данных, в ЦСТР должны быть реализованы следующие дополнительные услуги в зависимости от потребностей пользователей:

- логическая изоляция групп пользователей;

– многоуровневая система пользовательских приоритетов, в том числе прав на прерывание услуг связи, уже предоставленных другим пользователям;

– дополнительные услуги по управлению вызовами (удержание, перенаправление вызова, постановка в очередь и др.);

– автоответчик;

– информирование об освобождении занятой линии;

– баланс счета.

К услугам связи с железнодорожной спецификой, которые также должны быть реализованы в ЦСТР, относятся:

– функциональная адресация по номеру поезда, локомотива, вагона или по должностному номеру, отображение должности вызывающего абонента;

– вызов работника в зависимости от его местонахождения;

– обеспечение маневровой радиосвязи с постоянным контролем готовности линии;

– групповой вызов внутри поезда (для взаимодействия персонала);

– экстренные вызовы при управлении движением поездов;

– прямой вызов.

Система технологической РОРС на базе сетей подвижной связи коммерческих операторов предназначена для обеспечения технологической радиосвязью персонала, не связанного непосредственно с организацией перевозочного процесса; цифровая БСПД – для организации беспроводных каналов передачи данных в станционных ИУС. БСПД может организовываться с использованием цифровых систем радиосвязи стандартов GSM-R, DMR, Wi-Fi и др. Конкретный тип системы для БСПД должен определяться на этапе проектирования с учетом местных условий и требований к каналу передачи данных со стороны ИУС, а также требований по безусловному обеспечению электромагнитной совместимости радиоэлектронных средств.

Для обеспечения пассажиров услугами связи во время поездки по ВСМ должны использоваться сети подвижной связи коммерческих операторов.

Следует отметить, что использование систем ЦСТР, РОРС и БСПД должно происходить в соответствии с концепцией применения комплекса взаимосвязанных показателей RAMS на всех этапах жизненного цикла системы, включая этап анализа риска [6–12].

Подвижной состав любого типа, эксплуатируемый на ВСМ, должен быть оснащен следующими средствами радиосвязи:

– трехдиапазонными радиостанциями передачи речи с приемопередатчиками диапазонов 900 МГц (стандарт GSM-R), 160 МГц (стандарт DMR и аналоговая радиосвязь), 2 МГц (аналоговая радиосвязь) – при этом аналоговая радиосвязь необходима для обеспечения связи при выезде подвижной единицы за пределы ВСМ на железнодорожные участки, оснащенные соответствующими аналоговыми системами технологической радиосвязи [13];

– радиостанциями для организации РОРС на базе сетей подвижной связи коммерческих операторов;

– радиостанциями передачи данных для работы ИУС.

Для обеспечения работы систем управления движением поездов, а также иных систем, требующих определения местоположения подвижных единиц, подвижной состав должен оснащаться модулями ГЛОНАСС/GPS.

Рабочие места начальников пассажирских поездов должны оснащаться двухдиапазонными радиостанциями передачи речи диапазонов 900 МГц (стандарт GSM-R) и 160 МГц (стандарт DMR и аналоговая связь).

Для функционирования абонентских устройств пассажиров поезда подвижной состав должен быть оснащен широкополосными репитерами стандарта GSM, а также радиостанциями спутниковой связи.

ПРС непосредственно связана с обеспечением безопасности движения поездов, поэтому важной задачей становится надежный контроль ее функционирования в процессе эксплуатации [14].

Целью проверки действия и контроля параметров ПРС и БСПД является повышение безопасности движения и обеспечение значения коэффициента готовности сетей радиосвязи на уровне не менее 0,9995 за счет организации системы контроля за основными параметрами стационарных радиоэлектронных средств (РЭС), а также за состоянием инфраструктуры, обеспечивающей распространение вдоль участков железных дорог радиосигналов от РЭС, используемых для управления перевозочным процессом.

При проверке действия ПРС измерительное оборудование должно предоставлять возможность оценивать и проверять следующие параметры:

– длительность установления соединений;

– качество услуг (для передачи речи и данных) с проведением статистического анализа;

– уровень принимаемого сигнала;

– качество принимаемого сигнала;

– временные параметры передачи соединения;

– параметры передачи/приема данных CSD (Circuit Switched Data – передача данных с коммутацией цепей), GPRS (General Packet Radio Service – служба пакетной передачи данных общего назначения по радиоканалу), EDGE (Enhanced Data Rates for GSM Evolution – усовершенствованная технология передачи данных для развития сетей GSM).

Перечень измеряемых параметров ПРС может меняться при изменении технических средств измерений, технологий эксплуатации или методов контроля ПРС. Проверка действия ПРС в линейной радиосети на участке ВСМ, организуемая с использованием измерительных средств, размещаемых на подвижной единице, должна проводиться не реже одного раза в квартал, в зонной радиосети – с периодичностью не реже одного раза в год. Выборочные проверки основных параметров локомотивных радиостанций должны осущест-

вляться не реже одного раза в квартал. При этом продолжительность каждой такой проверки определяется в годовом графике и составляет, как правило, не менее трех рабочих дней подряд.

Проверяться и контролироваться должны все основные функции ПРС и БСПД по передаче речи и передаче данных, реализуемые в сетях радиосвязи на участке ВСМ. Периодической проверке и контролю подлежат все средства радиосвязи (стационарные, возимые, носимые), а также каналы радиосвязи между возимыми и стационарными радиостанциями, смежными стационарными радиостанциями, а в необходимых случаях и между каналами с участием носимых радиостанций.

Основными видами проверок и контроля ПРС и БСПД являются:

- 1) оперативный контроль с помощью Единой системы мониторинга и администрирования (ЕСМА);
- 2) периодические (плановые) проверки вагоном-лабораторией по графику;
- 3) контрольные проверки вагоном-лабораторией с проверкой устранения ранее выявленных замечаний;
- 4) внеплановые проверки.

Устройства ПРС, имеющие техническую возможность, должны быть включены в систему мониторинга и администрирования (СМА), предназначенную для контроля и администрирования параметров системы радиосвязи владельца инфраструктуры. СМА ПРС должна, в свою очередь, входить в ЕСМА технологической сети связи владельца инфраструктуры. Порядок и периодичность проверки работоспособности и контроля основных параметров ПРС с использованием ЕСМА определяются техническими возможностями ЕСМА.

В зависимости от технических возможностей и решений о порядке проведения измерений с подвижной единицы в интересах других железнодорожных хозяйств (электроснабжения, автоматики и телемеханики и др.) радиотехническое измерительное оборудование может находиться в отдельном или совмещенном с другими хозяйствами вагоне-лаборатории, в специальном измерительном поезде или на типовом составе, используемом на участке ВСМ. Конкретный вариант размещения измерительного оборудования должен быть определен с учетом выбора конкретного вида поезда для ВСМ, а также потребностей других хозяйств в проведении измерений с подвижного состава.

Система контроля поездной радиосвязи, организованной на базе ЦСТР стандарта GSM-R, должна работать в автоматическом режиме и за счет встроенных средств самодиагностики и мониторинга оборудования сети радиосвязи осуществлять непрерывный контроль его состояния. При этом контроль состояния подвижных средств радиосвязи должен проводиться с использованием информации о данных средствах радиосвязи, получаемой по радиока-

налу (каналу управления). Результаты мониторинга состояния оборудования должны быть доступны как через штатное программное обеспечение системы мониторинга ЦСТР стандарта GSM-R, так и в ЕСМА.

Также важными функциями, относящимися к хозяйству связи ВСМ, являются информирование пассажиров и оповещение работающих на путях о приближении высокоскоростного подвижного состава [15].

Системы беспроводной связи относятся к наиболее динамично развивающимся видам техники. Наиболее перспективным стандартом беспроводной связи для железнодорожного транспорта в скором будущем может стать стандарт LTE (LTE-R). Пропускная способность систем данного стандарта, возможности их применения для решения всего круга задач, стоящих перед железнодорожной радиосвязью (включая задачи обеспечения клиентской радиосвязи), позволят заменить несколько разных систем радиосвязи, решающих отдельные функциональные задачи, одной, более удобной и надежной. Однако мировой и отечественный опыт применения систем такого стандарта на железнодорожном транспорте (включая ВСМ) пока недостаточен, а стоимость его оборудования заметно превышает стоимость оборудования стандарта GSM-R. Но через несколько лет ситуация может измениться.

Библиографический список

1. Киселев И. П. Высокоскоростной железнодорожный транспорт. Общий курс : учеб. пособие : в 2 т. / И. П. Киселев, Л. С. Блажко, А. Т. Бурков, Н. С. Бушуев, В. А. Гапанович, В. И. Ковалев, А. П. Ледаев, А. Б. Никитин, П. А. Плеханов, В. М. Саввов, В. Н. Смирнов, Ю. И. Соколов, В. С. Суходоев, Т. С. Титова, Ю. С. Фролов ; под ред. И. П. Киселева. – М. : Учеб.-метод. центр по образованию на ж.-д. транспорте, 2014. – Т. 1. – 308 с.

2. Киселев И. П. Высокоскоростной железнодорожный транспорт. Общий курс : учеб. пособие : в 2 т. / И. П. Киселев, Л. С. Блажко, Ю. П. Бороненко, А. Т. Бурков, В. И. Ковалев, А. Е. Красковский, А. Б. Никитин, Д. В. Пегов, П. А. Плеханов, В. М. Саввов, С. С. Сергеев, В. С. Суходоев, А. М. Уздин, А. В. Ширяев ; под ред. И. П. Киселева. – М. : Учеб.-метод. центр по образованию на ж.-д. транспорте, 2014. – Т. 2. – 372 с.

3. Роенков Д. Н. Основные требования к организации радиосвязи на высокоскоростной магистрали / Д. Н. Роенков, В. В. Шматченко, П. А. Плеханов, В. Г. Иванов // Транспорт Российской Федерации. – 2015. – № 2 (57). – С. 49–52.

4. Роенков Д. Н. СТУ для организации радиосвязи на ВСМ Москва–Казань / Д. Н. Роенков, П. А. Плеханов, В. В. Шматченко, В. Г. Иванов // Автоматика. Связь. Информатика. – 2016. – № 6. – С. 23–26.

5. Специальные технические условия «Железнодорожная электросвязь участка Москва–Казань высокоскоростной железнодорожной магистрали “Москва–Казань–Екатеринбург”. Технические нормы и требования к проектированию и строительству железнодорожной радиосвязи». – СПб. : ПГУПС, 2014. – 51 с.

6. Зайцев А. А. Современная нормативная база обеспечения безопасности высокоскоростного железнодорожного транспорта / А. А. Зайцев, В. В. Шматченко, П. А. Плева-

нов, Д. Н. Роенков, В. Г. Иванов // Транспорт Российской Федерации. – 2015. – № 5 (60). – С. 60–63.

7. Плеханов П. А. Вопросы обеспечения безопасности железнодорожных телекоммуникационных систем международных транспортных коридоров / П. А. Плеханов // Бюл. результатов науч. исследований. – 2012. – Вып. 3 (2). – С. 85–97.

8. Шматченко В. В. Стандарты Комитета CENELEC как составная часть Международного стандарта железнодорожной промышленности IRIS / В. В. Шматченко, П. А. Плеханов // Сб. науч. тр. «Актуальные вопросы развития систем железнодорожной автоматики и телемеханики». – СПб. : ПГУПС, 2013. – С. 75–79.

9. IEC 62278. Railway applications. Specification and demonstration of reliability, availability, maintainability and safety (RAMS). – International Electrotechnical Commission, Geneva (Switzerland), 2002.

10. IEC 62279. Railway applications. Communications, signalling and processing systems. Software for railway control and protection systems. – International Electrotechnical Commission, Geneva (Switzerland), 2015.

11. IEC 62425. Railway applications. Communication, signalling and processing systems. Safety related electronic systems for signalling. – International Electrotechnical Commission, Geneva (Switzerland), 2007.

12. IEC 60300-3-3. Dependability management. Part 3-3: Application guide. Life cycle costing. – International Electrotechnical Commission, Geneva (Switzerland), 2017.

13. Шматченко В. В. Расширение функциональной полноты и требований по безопасности к поездной радиосвязи при переходе с аналоговых на цифровые технологии / В. В. Шматченко, П. А. Плеханов, Д. Н. Роенков, В. Г. Иванов, П. Н. Ерлыков // Бюл. результатов науч. исследований. – 2015. – Вып. 2 (15). – С. 61–71.

14. Специальные технические условия «Проверка действия и контроль параметров поездной радиосвязи и беспроводных систем передачи данных на участке “Москва–Казань” высокоскоростной железнодорожной магистрали “Москва–Казань–Екатеринбург”». – СПб. : ПГУПС, 2014. – 30 с.

15. Специальные технические условия «Системы информирования пассажиров и оповещения работающих на путях участка “Москва–Казань” высокоскоростной железнодорожной магистрали “Москва–Казань–Екатеринбург” о приближении высокоскоростного подвижного состава. Технические нормы и требования к проектированию и строительству». – СПб. : ПГУПС, 2014. – 49 с.

References

1. Kiselev I. P., Blazhko L. S., Burkov A. T., Bushuyev N. S., Gapanovich V. A., Kovalev V. I., Ledyayev A. P., Nikityn A. B., Plekhanov P. A., Savvov V. M., Smyrnov V. N., Sokolov Y. I., Sukhoyedov V. S., Tytova T. S. & Frolov Y. S. *Vysokoskorostnoy zheleznodorozhnyy transport. Obshiy kurs [High-speed railway transport. Guideline]*. In 2 vol. Ed. by I. P. Kiselev. Moscow, Uchebno-metodicheskiy tsentr po obrazovaniyu na zheleznodorozhnom transporte [Learning and teaching educational center of railway transport] Publ., 2014, vol. 1, 308 p. (In Russian)

2. Kiselev I. P., Blazhko L. S., Boronenko Y. P., Burkov A. T., Kovalev V. I., Ledyayev A. P., Kraskovskiy A. Y., Nikityn A. B., Pegov D. V., Plekhanov P. A., Savvov V. M., Sergeyev S. S., Sukhoyedov V. S., Uzdyn A. M. & Shyryayev A. V. *Vysokoskorostnoy zheleznodorozhniy transport. Obshiy kurs [High-speed railway transport. Guideline]*. In 2 vol. Ed. by I. P. Kiselev. Moscow, Uchebno-metodicheskiy tsentr po obrazovaniyu na zheleznodorozhnom transporte [Learning and teaching educational center of railway transport] Publ., 2014, vol. 2, 372 p. (In Russian)

3. Royenkov D. N., Shmatchenko V. V., Plekhanov P. A. & Ivanov V. G. Osnovniye trebovaniya k organizatsii radiosvyazy na vysokoskorostnoy magystraly [Basic requirements to communication service organization on high-speed network]. *Transport of the Russian Federation*, 2015, no. 2 (57), pp. 49–52. (In Russian)

4. Royenkov D. N., Plekhanov P. A., Shmatchenko V. V. & Ivanov V. G. STU dlya organizatsii radiosvyazy na VSM Moskva–Kazan [Special Technical Regulations for organization of radio communication at VSM Moscow–Kazan]. *Automatics. Telecommunication. Information science*, 2016, no. 6, pp. 23–26. (In Russian)

5. *Spetsialniye tekhnicheskiye usloviya “Zheleznodorozhnaya elektrosvyaz uchastka Moskva–Kazan vysokoskorostnoy zheleznodorozhnoy magystraly “Moskva–Kazan–Yekaterinburg”*. *Tekhnicheskiye normy i trebovaniya k proyektyrovaniyu i stroitelstvu zheleznodorozhnoy radiosvyazy* [Special technical regulations “Railway telecommunication of Moscow–Kazan district of “Moscow–Kazan–Yekaterinburg” high-speed railroad. Technical regulations and engineering and construction requirements of railway radio communication”]. Saint Petersburg, PGUPS Publ., 2014, 51 p. (In Russian)

6. Zaytsev A. A., Shmatchenko V. V., Plekhanov P. A., Royenkov D. N. & Ivanov V. G. Sovremennaya normatyvnaya baza obespecheniya bezopasnosti vysokoskorostnogo zheleznodorozhnogo transporta [Modern regulatory framework of providing high-speed train safety control]. *Transport of the Russian Federation*, 2015, no. 5 (60), pp. 60–63. (In Russian)

7. Plekhanov P. A. Voprosy obespecheniya bezopasnosti zheleznodorozhnykh telekommunikatsionnykh system mezhdunarodnykh transportnykh koridorov [The issues of railroad telecommunication systems’ security of international transport corridors]. *Bulleten rezultatov nauchnykh issledovaniy [Bulletin of scientific research results]*, 2012, no. 3 (2), pp. 85–97. (In Russian)

8. Shmatchenko V. V. & Plekhanov P. A. Standarty Komyteta CENELEC kak sostavnaya chast Mezhdunarodnogo standarta zheleznodorozhnoy promyshlennosti IRIS [CENELEC Committee Standards as an integral part of International Railway Industry Standard IRIS]. *Sbornyk nauchnykh trudov “Aktualniye voprosy razvitiya system zheleznodorozhnoy avtomatyky i telemekhaniky” [Coll. of scientific works “Topical issues of railway automatics and telemechanics systems’ development”]*. Saint Petersburg, PGUPS Publ., 2013, pp. 75–79. (In Russian)

9. IEC 62278. *Railway applications. Specification and demonstration of reliability, availability, maintainability and safety (RAMS)*. International Electrotechnical Commission, Geneva (Switzerland), 2002.

10. IEC 62279. *Railway applications. Communications, signalling and processing systems. Software for railway control and protection systems*. International Electrotechnical Commission, Geneva (Switzerland), 2015.

11. IEC 62425. *Railway applications. Communication, signalling and processing systems. Safety related electronic systems for signalling*. International Electrotechnical Commission, Geneva (Switzerland), 2007.

12. IEC 60300-3-3. *Dependability management. Part 3-3: Application guide. Life cycle costing*. International Electrotechnical Commission, Geneva (Switzerland), 2017.

13. Shmatchenko V. V., Plekhanov P. A., Royenkov D. N., Ivanov V. G. & Yerlykov P. N. Rashyreniye funktsionalnoy polnoty I trebovaniy po bezopasnosty k poyezdnoy radio-svyazy pry perekhode s analogovykh na tsyfrovyye tekhnologii [The enhancement of functional completeness and safety requirements for radio train communication when transferring from analog to digital technologies]. *Bulleten rezultatov nauchnykh issledovaniy* [Bulletin of Scientific Research results], 2015, no. 2 (15), pp. 61–71. (In Russian)

14. *Spetsialniye tekhnicheskiye usloviya “Proverka deystviya i control parametrov poyezdnoy radiosvyazy i besprovodnykh system peredachy dannykh na uchastke Moskva–Kazan vysokoskorostnoy zheleznodorozhnoy magystraly “Moskva–Kazan–Yekaterinburg”*” [Special technical regulations “Operation and parameters’ check of radio train communication and wireless data communication systems” at Moscow–Kazan district of “Moscow–Kazan–Yekaterinburg” high-speed railroad]. Saint Petersburg, PGUPS Publ., 2014, 30 p. (In Russian)

15. *Spetsialniye tekhnicheskiye usloviya “Sistemy informirovaniya passazhyrov i opovesheniya rabotayushykh na putyakh uchastka Moskva–Kazan vysokoskorostnoy zheleznodorozhnoy magystraly “Moskva–Kazan–Yekaterinburg” o pryblyzhenii vysokoskorostnogo podvyzhnogo sostava. Tekhnicheskiye normy i trebovaniya k proyektirovaniyu i stroitelstvu ”* [Special technical regulations “The systems informing the passengers and notifying the maintenance force working on track at Moscow–Kazan district of “Moscow–Kazan–Yekaterinburg” high-speed railroad about an approaching high-speed train”. Technical norms and regulations on planning and building”]. Saint Petersburg, PGUPS Publ., 2014, 49 p. (In Russian)

*РОЕНКОВ Дмитрий Николаевич – канд. техн. наук, доцент; *ПЛЕХАНОВ Павел Андреевич – канд. техн. наук, доцент; ШМАТЧЕНКО Владимир Владимирович – канд. техн. наук, доцент (Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I).