

Р.А. Жамсаранова, В.А. Алексеенко

Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, Российская федерация

ОСОБЕННОСТИ ЦИФРОВЫХ СИСТЕМ РАДИОСВЯЗИ, ПРИМЕНЯЕМЫХ НА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОМ ТРАНСПОРТЕ

Аннотация: В статье рассмотрены преимущества и недостатки систем цифровой радиосвязи, которые применяются на железных дорогах. Рассматриваются особенности структуры систем радиосвязи, приведены сравнительные характеристики систем радиосвязи различных стандартов, которые могут использоваться для цифровой железной дороги. Актуальность данной темы обусловлена всё более широким внедрением современных систем беспроводной связи на железнодорожном транспорте для решения задач повышения надежности и безопасности движения поездов. Развитие автоматизированных и информационных систем железнодорожного транспорта увеличивает объемы передачи информации при помощи сетей беспроводной цифровой радиосвязи.

Ключевые слова: цифровая радиосвязь, GSM-R, DMR, TETRA, LTE-R, передача данных

R.A. Zhamsaranova, V.A. Alekseenko

Irkutsk State Transport University, Irkutsk, the Russian Federation

FEATURES OF DIGITAL RADIO COMMUNICATION SYSTEMS USED IN RAILWAY TRANSPORT

Abstract: The article discusses the advantages and disadvantages of digital radio communication systems that are used on railways. The features of the structure of radio communication systems are considered, and comparative characteristics of radio communication systems of various standards that can be used for a digital railway are given. The relevance of this topic is due to the increasingly widespread introduction of modern wireless communication systems in railway transport to solve the problems of increasing the reliability and safety of train traffic. The development of automated and information systems in railway transport increases the volume of information transmission using wireless digital radio networks.

Key words: digital radio, GSM-R, DMR, TETRA, LTE-R, data transfer

Введение. На железнодорожном транспорте для коммуникации между поездами, станциями, диспетчерскими центрами и другими элементами железнодорожной инфраструктуры и используются системы технологической радиосвязи (РС). РС является одной из основных систем обеспечения безопасности и эффективности движения поездов, она позволяет оперативно передавать команды и информацию между участниками процесса перевозки грузов и пассажиров, а также обеспечивает реализацию функций управления и контроля железнодорожного транспорта [1].

Процессы поездной и маневровой работы, составляющие ключевые функции холдинга ОАО «Российские Железные Дороги» во многом реализуются только за счет применения систем РС [2].

Использование цифровых систем радиосвязи обеспечивает следующие преимущества: улучшенная эффективность передачи и безопасность, оптимизация спектра частот. Цифровые технологии позволяют передавать разнообразные данные, включая текстовую информацию, изображения, видео и другие мультимедийные данные. Обеспечивают более четкое и стабильное качество звука, что повышает комфорт и эффективность общения.

Современные системы радиосвязи обладают несколькими характеристиками, которые делают их более эффективными и удобными в использовании. Одной из ключевых особенностей таких радиосистем является возможность применения цифровой технологии передачи данных, что повышает скорость передачи и защищенность от помех. Благодаря этому возможна быстрая передача большего объема данных за меньшее время.

Многие современные системы радиосвязи способны использовать различные типы модуляций, что позволяет увеличивать эффективность передачи данных. Присутствие многоуровневых методов кодирования информации таких как, прямая корректировка ошибок и турбо-кодирование, повышают надежность соединения и защищает пользователей от ошибок при передаче.

Цифровые системы радиосвязи могут быть легко интегрированы с другими системами управления и мониторинга на железной дороге, позволяя эффективно координировать диспетчерскую работу и перевозочный процесс [3].

Для обеспечения взаимодействия персонала железнодорожных станций с локомотивными бригадами, радиосвязь должна включать в себя различные составляющие:

- технические средства связи на подвижных единицах;
- сети коммуникаций;
- управляющие информационные системы;
- системы управления и обеспечения движением поездов;
- цифровую беспроводную систему передачи данных (СПД), которая может быть организована с использованием цифровых систем стандартов (GSM-R, DMR, TETRA и т.д.) [4].

На современных железных дорогах применяются различные цифровые системы радиосвязи, которые обеспечивают эффективное управление и безопасность движения поездов. Некоторые из них включают в себя:

- GSM-R (Global system for Mobile Communications-Railway);
- DMR (Digital Mobile Radio);
- TETRA (Terrestrial Trunked Radio);
- стандарт LTE-R (Long-Term Evolution for Railway);
- Wi-Fi и Bluetooth.

Рассмотрим особенности наиболее известных стандартов цифровой радиосвязи.

GSM-R специализированная цифровая система радиосвязи, разработанная специально для железнодорожной отрасли, позволяет обеспечивать передачу данных между станциями, поездами, центрами управления перевозками и другими элементами транспортной системы. К важным функциональным возможностям системы GSM-R, обеспечивающим управление безопасностью перевозочного процесса, можно отнести групповые вызовы, возможности трансляции голоса, коммуникация с учетом местоположения абонента и освобождение линии в случае срочных вызовов [5, 6].

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 [7].

GSM-R имеет несколько особенностей, которые делает её уникальной и подходящей для использования в условиях железных дорог:

- совместимость с другими системами;
- групповые вызовы и ширококовещание;
- возможность автоматически и дистанционно управлять поездами;
- надежность и стабильность;
- аварийное оповещение и безопасность.

Обмен сообщениями в GSM-R осуществляется по дуплексному каналу для организации индивидуальных соединений.

На основе стандарта GSM-R можно реализовать функции мониторинга дислокации грузов, видеонаблюдения за поездами и объектами железнодорожной инфраструктуры, а также оповещение пассажиров и работников в случае возникновения нештатных ситуаций или информирование персонала о прибытии подвижного состава на пункты технического обслуживания.

В состав системы GSM-R входят подсистемы, взаимодействующие друг с другом посредством радиосвязи, к ним относятся бортовые подсистемы (основная функция

заключается в контроле движения поездов), стационарные подсистемы (основные функции контроль напольных устройств и систем железнодорожной автоматики и телемеханики) и подсистемы центра управления (движение поездов по участкам).

Для увязки подсистем топологические сведения (модели линии, местонахождения напольных устройств и т.д.), данные допустимых скоростей движения по участкам и адресация радиосвязи сведены в единую базу данных [4].

На рисунке 1 представлена упрощенная структура сети GSM-R.

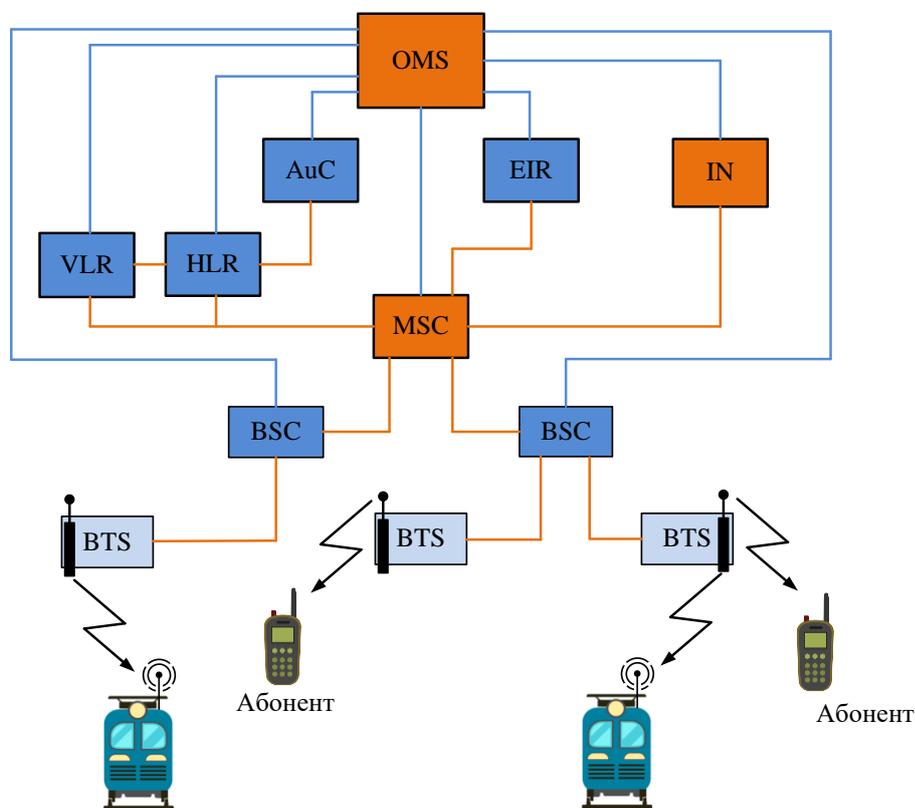


Рис. 1. Структура сети GSM-R

Структура сети GSM-R построена на основе базовых приемо-передающих станций (BTS), обеспечивающих радиосвязь в определенной территориальной зоне.

– Контроллер базовой станции (BSC) отвечает за распределение каналов, контроль соединения, модуляцию (демодуляцию) сигналов, кодирование и декодирование сообщений, адаптация скорости передачи речи, данных и сигналов вызова и управление очередностью передачи сообщений.

Центральный коммутатор подвижной связи (MSC) обслуживает группу зон и обеспечивает все виды соединений с мобильными станциями [6].

Постоянное слежение за мобильными станциями также выполняет центральный коммутатор MSC, при этом используются регистр положения (HLR), в котором хранится та часть информации о местоположении какой-либо мобильной станции; регистр перемещения (VLR) основное устройство, обеспечивающее контроль за передвижением мобильных станций из зоны в зону и регистр идентификации сети (IN) – в нем содержатся идентификаторы всех сетей, с которыми обеспечивается роуминг в данной системе.

Центр аутентификации (AUC) состоит из нескольких блоков и формирует ключи и алгоритмы аутентификации. С его помощью проверяются полномочия абонента, и осуществляется его доступ к сети, также AUC принимает решения о параметрах процесса аутентификации и определяет ключи шифрования на основе базы данных, находящейся в регистре идентификации оборудования (EIR), который содержит централизованную базу данных для подтверждения подлинности международного идентификационного номера оборудования мобильной станции [6].

Центр управления и обслуживания (ОМС) обеспечивает управление сегментами сети и следит за показателями качеством ее работы. Также в функции ОМС входят проверка состояния оборудования сети, регистрация и обработка аварийных сигналов, устранение неисправностей, сбор статистических данных, управление трафиком, передачей обслуживания и базой данных.

Чтобы обеспечить высокую надежность связи на железнодорожном участке при установке BTS системы GSM-R необходимо выполнять перекрытие (не менее 50%) зон соседних сот [6].

Взаимосвязь центра управления и обслуживания с подвижной станцией обеспечивают интерфейсы GSM-R (PSTN, PDN, ISDN). Непрерывность связи при перемещении подвижной абонентской станции от одной соты к другой обеспечивает центральный коммутатор MSC. Для предотвращения потерь связи в GSM-R принято блочное кодирование [8].

На данный момент стандарт GSM-R считается устаревшим, так как является узкополосной радиосвязью, не обеспечивающей использование новых видов услуг и неадаптированную к стремительно растущему потоку информации на транспорте.

Он также имеет ограниченную пропускную способность, сложность обновления и модернизации и ограниченную поддержку передачи данных, а чтобы доставить низкоскоростные данные ETCS, соединения должны постоянно потреблять сетевые ресурсы, даже если они не используются [9].

Стандарт TETRA. Европейский институт телекоммуникационных стандартов ETSI разработал стандарт цифровой транкинговой связи TETRA для использования в профессиональных сферах безопасности, при чрезвычайных ситуациях или для функционирования общественных служб. Оборудование стандарта TETRA работает в диапазонах частот указанных в таблице 1 с использованием метода многостанционного доступа с временным разделением TDMA (Time Division Multiple Access). При этом пропускная способность канала составляет 25 кГц [10].

Так как TETRA имеет достаточно высокое качество передачи голоса и улучшенную экономию частоты, её можно с высокой эффективностью использовать в качестве системы цифровой мобильной радиосвязи.

TETRA имеет ряд характеристик и особенностей, дающих возможность использовать его для решения задач эксплуатации железных дорог. К ним можно отнести использование цифровой передачи данных, предоставление голосовой связи высокого качества, возможность организации групповых вызовов, эффективное использование радиочастотного спектра за счет алгоритмов оптимизации, что позволяет обеспечивать высокую пропускную способность сети. Также в стандарте используются протоколы безопасности для обеспечения конфиденциальности и целостности передаваемой информации (имеются функции шифрования и защиты данных, а также аутентификацией пользователей).

Сеть, построенная по стандарту TETRA, является масштабируемой за счет гибкой конфигурации и различных вариантов компоновки оборудования. При этом сохраняется работоспособность сети и безопасность передачи голоса и данных.

Интересным техническим решением может стать комплексное применение современных систем железнодорожной автоматики и телемеханики и цифровой радиосвязи стандарта TETRA. Такой подход, в перспективе позволит значительно увеличить пропускную способность железных дорог, повысить участковую скорость и безопасности движения поездов [11].

Стандарты GSM-R и TETRA имеют как ряд очевидных достоинств, так и недостатков. Компания РАО «РЖД», на опытном участке железной дороги протяженностью 153 км (Екатеринбург – Камышлов) проводила экспериментальное развертывание систем связи данных стандартов. Результаты исследований показали, что применение систем GSM-R или TETRA не является оптимальным решением всех задач эксплуатации железнодорожной транспортной системы [10].

Возможности систем связи GSM-R и TETRA для эффективного и надежного обмена данными серьезно ограничены, так как они изначально разрабатывались для территорий с высокой плотностью населения в качестве многоканальных голосовых систем обмена речевыми сообщениями между большим числом абонентов.

На основе стандарта TETRA возможна комплексная интеграция железнодорожных технологических систем, однако сети TETRA имеют относительно невысокие скорости передачи данных и низкую надежность связи при высокоскоростном движении поездов при высокой стоимости реализации [6].

Стандарт DMR. Еще одним стандартом цифровой радиосвязи, который применяется в ОАО «РЖД» (в основном для задач поездной радиосвязи) является разработанный ETSI открытый стандарт DMR (цифровое мобильное радио). Открытая архитектура позволяет для построения сети совмещать оборудование от разных производителей.

Стандарт DMR предлагает ряд функций и возможностей:

- высококачественная цифровая голосовая связь даже в условиях акустических шумов и электромагнитных помех;
- поддержка двусторонней связи в режиме on-line;
- обеспечение эффективного использования частотного спектра по сравнению с аналоговыми системами;
- увеличенная дальность и качество радиосвязи для абонентов портативных радиостанций;
- относительно простая конфигурация.

Конфигурация системы DMR предполагает использование базовых стационарных радиостанций, абонентского оборудования и специализированного программного обеспечения для создания автоматизированных рабочих мест. Структурная схема организации сети радиосвязи стандарта DMR представлена на рисунке 2.

В основе базовой станции стандарта DMR используется модульный универсальный репитер РМУ-4 позволяющий одновременно организовать до четырех каналов связи для передачи речи или данных. РМУ-4 можно использовать в качестве ретранслятора или стационарной радиостанции с подключением пультов дежурных по станции (ДПС) и аппаратуры передачи данных. Для подключения внешнего оборудования предусмотрена поддержка аналоговых и цифровых интерфейсов (RS-232, RS-485, Uk0, Ethernet).

Репитер РМУ-4 может работать в аналоговом, цифровом и смешанном и обеспечивает совместимость с действующей аналоговой сетью РС (с дальнейшим поэтапным переходом на цифровую радиосвязь).

Для дежурных по станции к одному репитеру РМУ-4 могут подключаться до трех пультов ПДС/И (интерфейс Ethernet (10/100 Base-T) или до восьми пультов ПДС (интерфейс Uk0) [12].

На локомотивах устанавливаются возимые радиостанции РЛСМ-10 работающие в диапазонах ГМВ (2 МГц), МВ с поддержкой стандарта DMR (160 МГц) и ДМВ (GSM-R900 МГц, GSM 900/1800/1900 МГц) имеющие функции дистанционного мониторинга и конфигурирования по сетям GSM и DMR; встроенный регистратор переговоров и интерфейсы RS-232, Ethernet, CAN.

Цифровые системы связи, построенные по стандарту DMR, обладают следующими преимуществами:

- высокая эффективность использования частотного ресурса;
- низкие операционные затраты за счет более эффективного использования частот и уменьшения энергопотребления;
- высокая надежность сети;
- возможность создания групповых вызовов, настройки уровней шифрования;
- одновременная передача нескольких вызовов на одной частоте (TDMA).

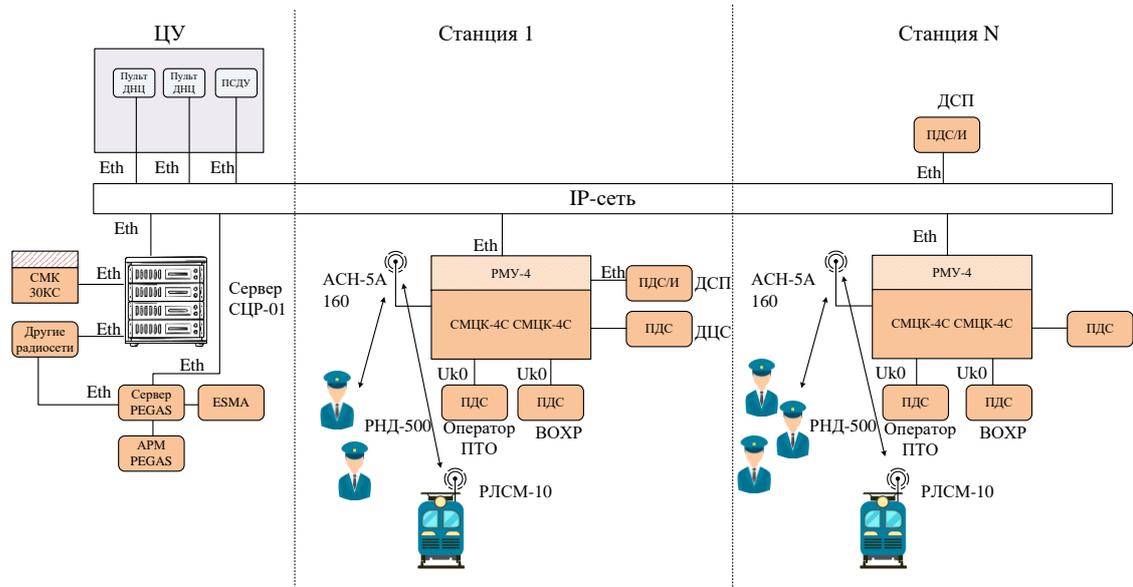


Рис.2. Структурная схема организации радиосвязи на базе стандарта DMR

На данный момент ОАО «РЖД» внедряет цифровую систему технологической радиосвязи на основе стандарта ETSI DMR Tier II, которая позволит обеспечить передачу голосовой информации и данных в технологических процессах железнодорожных структур.

Стандарт DMR имеет более высокие экономические показатели, чем GSM-R и TETRA, за счет сокращения расходов при строительстве сети [13].

Стандарт LTE-R. Наиболее перспективным стандартом беспроводной связи для железнодорожного транспорта является стандарт LTE-R. С 2018 года ОАО «РЖД» имеет разрешение использовать частоты диапазона 1785–1805 МГц для организации сетей технологического назначения на основе стандарта LTE [14].

Пропускная способность систем данного стандарта и возможность применять сети LTE-R для решения задач железнодорожной радиосвязи, даёт возможность заменить сразу несколько отдельных систем радиосвязи, одной общей, имеющей высокие показатели надежности. Однако стоимость оборудования LTE-R заметно превышает оборудования стандартов GSM-R и DMR, а опыт применения систем LTE-R на железнодорожном транспорте достаточно незначителен.

Архитектура стандарта LTE-R представлена на рисунке 3.

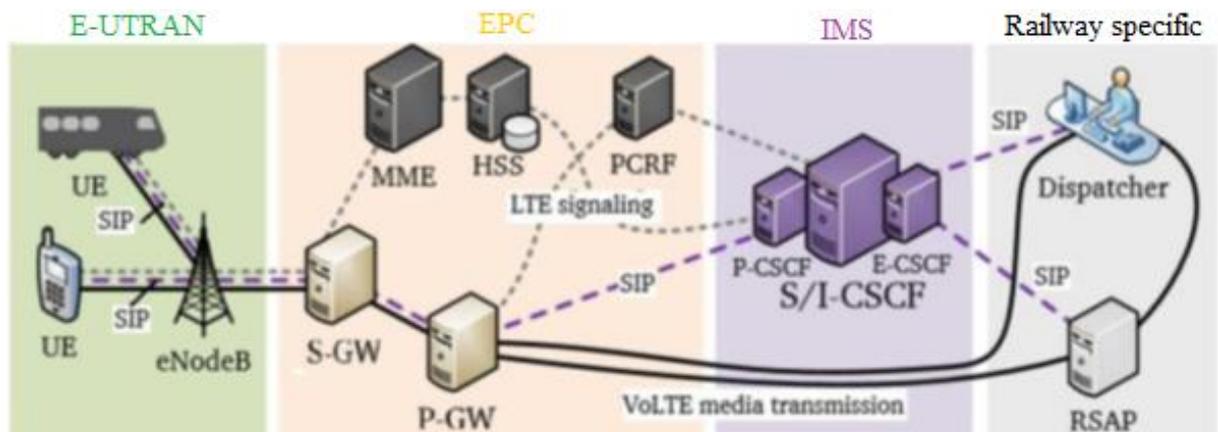


Рис.3. Архитектура стандарта LTE-R

Стандарт LTE представляет собой технологию мобильной связи четвертого поколения (4G), разработанную для обеспечения высокоскоростной передачи данных и улучшения качества обслуживания в сотовых сетях.

LTE использует гибридную архитектуру и обеспечивает значительно более высокие скорости передачи данных по сравнению с предыдущими стандартами и более эффективное управление ресурсами сети с оптимизацией трафика.

Сеть LTE-R представляет собой совокупность базовых станций eNB (Evolved NodeB или eNodeB), eNB подключены к ядру сети EPC (Evolved Packet Core). EPC в своем составе содержит обслуживающий шлюз S-GW (Serving Gateway), шлюз для выхода на пакетные сети P-GW (Packet Data Network Gateway), структуры управления по протоколу Mobility Management MME (Mobility Management Entity), связанной с S-GW и eNodeB сигнальными интерфейсами [7].

Оборудование стандарта LTE-R позволяет добиться высокой пиковой скорости передачи данных (свыше 100 Мбит/с, максимум – 150 Мбит/с. При этом поддерживается несколько десятков рабочих диапазонов и два технологических режима – дуплексный с частотным разделением (FDD) и дуплексный с временным разделением (TDD) каналов [8].

В таблице 1 приведены сравнительные характеристики стандартов цифровой радиосвязи.

Таблица 1. Характеристики стандартов GSM-R, TETRA, DMR, LTE-R

Характеристика	GSM-R	TETRA	DMR	LTE-R
Диаметр зоны покрытия, км	5	10,4	8	19,7–3,2
Количество доступных частот	19	До 1200/4800 в каждом поддиапазоне	2	13
Частота прямой линии	876–880 МГц	380–390 МГц 410–420 МГц 450–460 МГц 806–825 МГц 870–888 МГц	136–174 МГц	453–457,4 МГц 1710–1785 МГц 2500–2570 МГц
Частота обратной линии	921–925 МГц	390–400 МГц 420–430 МГц 460–470 МГц 851–870 МГц 915–933 МГц	403–470 МГц	463–467,4 МГц 1805–1880 МГц 2620–2690 МГц
Скорость передачи данных	9,6 Кбит/с	28,8 Кбит/с	2 Кбит/с	12–50 Мбит/с
Способ разделения каналов	TDMA	TDMA	TDMA	FDD/TDD
Время установления вызова	5–6 с	0,3–0,5 с	до 200 мс	<0,5 с
Время выполнения хэндовера	0,3–0,5 с	0,3–0,5 с	1 с	0,3–0,5 с

Внедрение системы радиосвязи стандарта LTE-R дает следующие возможные преимущества:

- увеличится скорость передачи данных (это преимущество является одним из ключевых ввиду роста потребности беспроводной передачи данных на железнодорожном транспорте);

- появится возможность создавать интегрированные комплекты перегонного оборудования;

- установка диагностических бортовых датчиков и систем видеонаблюдения на подвижной состав;
- внедрение централизованных систем оповещения персонала, находящегося на путях, о приближении поезда;
- возможность реализации расширенных услуг для пассажирского сообщения.

Развёртывание LTE-R требует значительных инвестиций в строительство базовых станций и обновление сетевого оборудования, при этом зона покрытия может быть неравномерной. Некоторые старые устройства могут не поддерживать LTE-R, что ограничивает доступность этой технологии.

Заключение. Внедрение современных систем цифровой радиосвязи на железнодорожном транспорте является актуальной задачей, при решении которой предъявляются повышенные требования к безопасности каналов связи, пропускной способности СПД и производительности серверного оборудования и автоматизированных рабочих мест.

В настоящее время выбрать универсальный стандарт цифровой радиосвязи, с помощью которого можно решить все вопросы передачи голоса и данных, для железнодорожного транспорта не представляется возможным.

Также нужно принимать во внимание изначальную направленность создания стандартов радиосвязи. Например, система стандарта TETRA предназначена для предоставления услуг по передаче речи, данных и сообщений большому числу абонентов на незначительной территории, а стандарт DMR ориентирован на обеспечение надежной связи при большой площади покрытия. Скорость информационного потока в системе DMR достаточно низкая (2 кбит/с) что приводит к появлению технологических ограничений стандарта DMR по передаче данных и служебных сообщений. GSM-R можно применить в качестве базового стандарта системы железнодорожной технологической цифровой радиосвязи, в то же время стандарт LTE-R является достаточно перспективным для реализации комплексной беспроводной системы связи и передачи данных для ОАО «РЖД».

Одним из определяющих факторов при выборе систем цифровой радиосвязи является стоимость реализации сетей по выбранному стандарту. Стандарт DMR имеет наименьшие расходы при создании СПД по сравнению с системами цифровой радиосвязи других стандартов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Анализ отказов оборудования систем технологической радиосвязи [Электронный ресурс] URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/analiz-otkazov-oborudovaniya-sistem-tehnologicheskoy-radiosvyazi/viewer> (Дата обращения 15.05.2024 г.)
2. Аминова, Г. Э. Обзор применения беспроводных систем в железнодорожной отрасли / Г. Э. Аминова, П. Е. Денисенко // Научно-технический вестник Поволжья. – 2021. – № 12. – С. 23-25.
3. Инновационная наука №4/2019 [Электронный ресурс] – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/sravnitel'naya-harakteristika-standartov-tsifrovoy-radiosvyazi-tetra-i-dmr/viewer> (Дата обращения 15.05.2024 г.)
4. Курбанов, Ж. Ф. Основы цифровой и интеллектуальной системы железнодорожной связи / Ж. Ф. Курбанов, И. К. Колесников, Н. В. Яронова // The Scientific Heritage. – 2020. – № 55-1(55). – С. 26-32.
5. Любченко, А. А. Анализ отказов оборудования систем технологической радиосвязи / А. А. Любченко, С. Г. Разумный, И. М. Никитин // Известия Транссиба. – 2013. – № 2(14). – С. 96-102. – EDN QCGDSJ.
6. Свичинский, Е. GSM-R - единый стандарт ж/д связи / Е. Свичинский // Беспроводные технологии. – 2013. – № 3(32). – С. 32-38.

7. Стельмашук, А. С. Цифровая железная дорога: переход от GSM-R к LTE-R / А. С. Стельмашук // Надежность функционирования и информационная безопасность инфокоммуникационных, телекоммуникационных и радиотехнических сетей и систем : Материалы всероссийской научно-технической конференции, Омск, 25 октября 2019 года. – Омск: Омский государственный университет путей сообщения, 2019. – С. 52-62.
8. Миронова, Л. А. Перспективы использования современных технологий мобильной связи на дальневосточной железной дороге / Л. А. Миронова, Г. В. Колодезная // Научно-техническое и экономическое сотрудничество стран АТР в XXI веке. – 2021. – Т. 1. – С. 198-203.
9. Мусатов, Д. В. Модернизация участка сети поездной радиосвязи на базе стандарта GSM-R / Д. В. Мусатов // Математические методы в технологиях и технике. – 2022. – № 3. – С. 114-117. – DOI 10.52348/2712-8873_ММТТ_2022_3_114.
10. Маргарян, С. Радиосеть управления и сбора данных для железнодорожных приложений. Часть 1 / С. Маргарян // Беспроводные технологии. – 2020. – № 1(58). – С. 48-56.
11. РЖД планируют использовать стандарты связи LTE для цифровой инфраструктуры [Электронный ресурс] – URL: company.rzd.ru/ru/9381/page/103290?redirected&id=16949 (Дата обращения 15.05.2024 г.)
12. Слюняев, А. Н. Система цифровом технологическом радиосвязи стандарта DMR / А. Н. Слюняев, А. М. Вериги, Д. В. Ананьев // Автоматика, связь, информатика. – 2014. – № 1. – С. 10-13.
13. Шашкова, Р. Д. Радиосвязь нового поколения на железнодорожном транспорте / Р. Д. Шашкова, А. Е. Берец, Ю. А. Иванов // Перспективы развития и использования радиосвязи : материалы I Всероссийской научно-практической конференции с участием студентов, Нижний Новгород, 10 июня 2022 года. – Нижний Новгород: Филиал ФГБОУ ВО «Самарский государственный университет путей сообщения» в г. Нижнем Новгороде, 2022. – С. 30-36.
14. Юдина, Н. А. Анализ цифровой радиосвязи стандарта TETRA / Н. А. Юдина, В. Н. Елисеев // Молодежная наука в XXI веке: традиции, инновации, векторы развития : Материалы VI Международной научно-исследовательской конференции, посвященной 50-летию Самарского государственного университета путей сообщения, Самара-Оренбург, 18–19 апреля 2023 года. – Самара-Оренбург: ОрИПС-филиал СамГУПС в г. Оренбург, 2023. – С. 314-316.

REFERENCES

1. Analysis of failures of technological radio communication systems [Electronic resource] URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/analiz-otkazov-oborudovaniya-sistem-tehnologicheskoy-radiosvyazi/viewer> (accessed 15.05.2024)
2. Aminova, G. E. Review of the application of wireless systems in the railway industry / G. E. Aminova, P. E. Denisenko // Scientific and Technical Bulletin of the Volga region. – 2021. – No. 12. – pp. 23-25.
3. Innovative science No.4/2019 [Electronic resource] – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/sravnitel'naya-harakteristika-standartov-tsifrovoy-radiosvyazi-tetra-i-dmr/viewer> (accessed 15.05.2024)
4. Kurbanov, J. F. Fundamentals of digital and intelligent railway communication system / J. F. Kurbanov, I. K. Kolesnikov, N. V. Yaronova // The Scientific Heritage. – 2020. – № 55-1(55). – Pp. 26-32.
5. Lyubchenko, A. A. Analysis of failures of equipment of technological radio communication systems / A. A. Lyubchenko, S. G. Razumny, I. M. Nikitin // Izvestia Transsib. – 2013. – № 2(14). – Pp. 96-102.
6. Svichinsky, E. GSM-R - a unified standard for railway communication / E. Svichinsky // Wireless technologies. – 2013. – No. 3(32). – pp. 32-38.

7. Stelmashchuk, A. S. Digital railway: transition from GSM-R to LTE-R / A. S. Stelmashchuk // Reliability of operation and information security of infocommunication, telecommunication and radio networks and systems: Proceedings of the All-Russian Scientific and Technical Conference, Omsk, October 25, 2019. – Omsk: Omsk State University of Transport, 2019. – P. 52-62.

8. Mironova, L. A. Prospects for the use of modern mobile communication technologies on the Far Eastern railway / L. A. Mironova, G. V. Kolodeznaya // Scientific, technical and economic cooperation of the Asia-Pacific countries in the XXI century. – 2021. – Vol. 1. – pp. 198-203.

9. Musatov, D. V. Modernization of a section of the train radio communication network based on the GSM-R standard / D. V. Musatov // Mathematical methods in technologies and engineering. - 2022. – No. 3. – pp. 114-117. – DOI 10.52348/2712-8873_MMTT_2022_3_114.

10. Margaryan, S. Radio network for control and data acquisition for railway applications. Part 1 / S. Margaryan // Wireless technologies. – 2020. – No. 1(58). – pp. 48-56.

11. Russian Railways plans to use LTE communication standards for digital infrastructure [Electronic resource] – URL: company.rzd.ru/ru/9381/page/103290?redirected&id=16949 (accessed 15.05.2024)

12. Slyunyaev, A. N. Digital technological radio communication system of the DMR standard / A. N. Slyunyaev, A. M. Verigo, D. V. Ananyev // Automation, communications, informatics. – 2014. – No. 1. – P. 10-13.

13. Shashkova, R. D. New generation radio communication in railway transport / R. D. Shashkova, A. E. Berets, Yu. A. Ivanov // Prospects for the development and use of radio communications : materials of the I All-Russian scientific and practical conference with students, Nizhny Novgorod, June 10, 2022. – Nizhny Novgorod: Branch of the Federal State budgetary educational institution of Higher Education "Samara State University of Railway Engineering" in Nizhny Novgorod, 2022. – pp. 30-36.

14. Yudina, N. A. Analysis of digital radio communication of the TETRA standard / N. A. Yudina, V. N. Eliseev // Youth science in the XXI century: traditions, innovations, vectors of development : Materials of the VI International Research Conference dedicated to the 50th anniversary of the Samara State University of Railway Engineering, Samara-Orenburg, April 18-19, 2023 of the year. – Samara-Orenburg: OrIPS-SamGUPS branch in Orenburg, 2023. – pp. 314-316.

Информация об авторах

Жамсаранова Раджана Алексеевна – студентка группы СОД.4-22-1, факультет «Системы обеспечения транспорта», Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, e-mail: radzhanazh@mail.ru

Алексеенко Владимир Александрович - к.т.н., доцент кафедры «Автоматика, телемеханика и связь», Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, e-mail: bezvoprosov03@mail.ru

Authors

Zhamsaranova Radzhana Alekseevna - student of group SOD.4-22-1, Faculty of Transport Support Systems Irkutsk State Transport University, Irkutsk, e-mail: radzhanazh@mail.ru

Alekseenko Vladimir Aleksandrovich - Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor of the Chair «Automation, Telemechanics and Communications», Irkutsk State Transport University, Irkutsk, e-mail: bezvoprosov03@mail.ru