

УДК: 001.895, 621.396.931, 656.3

# Железнодорожная радиосвязь нового поколения

## Next Generation Railway Communication System

**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

**Куроптева А.П.**, Главный специалист Международного управления АО «НИИАС»,  
E-mail: A.Kuropteva@vniias.ru, Москва, Россия

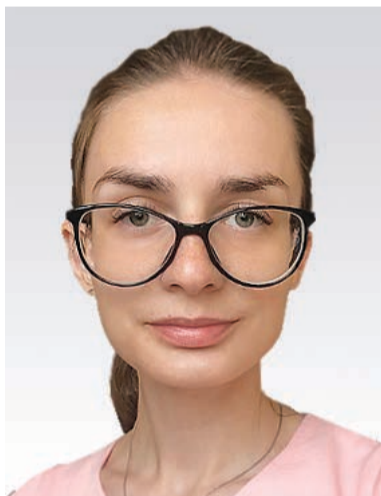
**Kuropteva A.P.**, Chief Specialist of International Department, JSC «NIIAS»,  
E-mail: A.Kuropteva@vniias.ru, Moscow, Russia



### Аннотация

В статье рассмотрены вопросы создания системы железнодорожной радиосвязи нового поколения, в том числе работы по стандартизации требований к системе и оборудованию FRMCS, ведущиеся в рамках Международного союза железных дорог (МСЖД), консорциума 3GPP и Европейского института телекоммуникационных стандартов ETSI. Сделан краткий обзор эволюции стандарта GSM-R, проведен анализ перспектив внедрения нового стандарта радиосвязи на основе LTE/5G, а также дана сравнительная характеристика существующего стандарта радиосвязи GSM-R и перспективных стандартов LTE-R, 5G, 5G-R. Приведены практические примеры внедрения и тестирования системы радиосвязи LTE/5G на железных дорогах мира.

**Ключевые слова:** транспорт, радиосвязь, FRMCS, GSM-R, 5G, LTE, LTE-R, ERTMS, МСЖД, цифровой двойник, беспилотное движение, высокоскоростные магистрали (ВСМ).



### Abstract

The article deals with the issues related to the development of a next generation railway radio communication system, including standardization procedures for the FRMCS system within the framework of the International Union of Railways (UIC), 3GPP consortium and European Telecommunications Standards Institute (ETSI). The paper gives a brief overview of the GSM-R evolution, an analysis of the prospect for the implementation of a next generation radio communication standard based on LTE/5G, as well as comparative analysis of GSM-R and LTE-R, 5G, 5G-R standards. Best world practices of implementation and testing of LTE/5G on railways are given.

**Keywords:** transport, radio communication, FRMCS, GSM-R, 5G, LTE, LTE-R, ERTMS, UIC, digital twin, autonomous operation, high-speed rail.



## Введение

Жизненный цикл телекоммуникационных систем значительно короче, чем жизненный цикл железнодорожного оборудования, и требует более частого изменения не только аппаратуры, но и технологии, соответствующего этапам развития телекоммуникационной отрасли в целом. В условиях цифровизации железнодорожной отрасли необходимость специализированного стандарта беспроводной связи для железных дорог диктуется также появлением целого ряда новых задач, таких как обеспечение беспилотного управления движением поездов, диагностики и мониторинга инфраструктуры и подвижного состава в режиме реального времени, удаленного видеонаблюдения, непрерывного контроля перемещения и сохранности грузов и т.д.

В связи с этим Международный союз железных дорог (МСЖД) рассматривает возможность замены к 2030 году стандарта GSM-R на новый стандарт FRMCS («Система железнодорожной радиосвязи нового поколения»). В качестве технологии FRMCS первоначально изучался стандарт LTE, а в последние годы – 5G. Планируется, что стандарт LTE/5G должен обеспечить возможность построения многофункциональной мультисервисной сети на железнодорожном транспорте, которая позволит решать различные задачи технологической радиосвязи, управления и обеспечения безопасности движения поездов, диспетчеризации, Интернета вещей, а также широкополосного доступа пассажиров к цифровым услугам.

Ключевым для железных дорог является вопрос выделения частот под новый стандарт FRMCS. Для параллельной работы систем радиосвязи GSM-R и FRMCS в переходный период явно не хватает имеющихся частот, как уже зарезервированных под GSM-R, так и дополнительно выделяемых. Поэтому активно прорабатываются различные варианты партнерства с мобильными операторами по организации трафика и резервного канала радиосвязи для передачи неотчетливых данных на уже существующей инфраструктуре. Оцениваются варианты распределения расходов при подготовке перехода к FRMCS между железными дорогами и мобильными операторами, повторного использования базовых станций GSM-R.

## Система радиосвязи GSM-R

Система радиосвязи GSM-R получила свое развитие в конце 20-го века с началом разработки и внедрения стандартизированной европейской системы управления и обеспечения безопасности движения поездов ETCS/ERTMS. В настоящее время сеть GSM-R развернута более чем на 130 тыс. км линий в странах Европы и на 210 тыс. км по всему миру [1]. Особенно интенсивное внедрение продемонстрировал Китай, который оборудовал данным видом беспроводной электросвязи более 69 тыс. км железнодорожных линий (включая ВСМ, высокогорные железнодорожные линии и участки тяжеловесно-

го движения). Технология используется как в качестве технологической радиосвязи (поездной, станционной и ремонтно-оперативной), так и для организации радиоканала обмена данными между напольным и бортовым оборудованием посредством центров радиоблокировки RBC в составе китайской системы управления CTCS. Функциональные и технические требования к системе GSM-R содержатся в актуализируемых спецификациях функциональных требований EIRENE («Европейская интегрированная железнодорожная радиосеть с расширенными возможностями»).

Вместе с тем на данный момент стандарт GSM-R признан устаревшим, поскольку основан на технологии 2G и является узкополосной радиосвязью, не обеспечивает интеграцию новых видов услуг и адаптацию к увеличивающемуся информационному потоку. Для GSM-R выделено две полосы частот в диапазоне 876-880 и 921-925 МГц, а максимальная пропускная способность составляет 9,6 кбит/с, что является достаточным только для приложений с низкими требованиями [2].

## Перспективная система железнодорожной связи FRMCS

Начиная с 2014 года на платформе МСЖД созданы и функционируют экспертные группы, работающие над различными аспектами создания интегрированной цифровой системы мобильной связи для железных дорог [3].

Для реализации проекта был разработан трехэтапный стратегический план, охватывающий все мероприятия по внедрению FRMCS с целью запуска системы в Европе в 2025 году (Рис. 1).

Основные требования к системе FRMCS описаны в соответствующих документах МСЖД:

- Спецификация требований пользователя (User Requirements Specification) [4];
- Описание и оценка возможных вариантов миграции FRMCS для существующей системы ETCS и бортовых устройств (TOBA-7515) [5];
- Сценарии применения FRMCS (Use Cases) [6];
- Бортовая система FRMCS – Сценарии миграции архитектуры [7].

В вопросе разработки требований к системе FRMCS МСЖД взаимодействует с Консорциумом по развитию беспроводной связи 3GPP и Европейским институтом телекоммуникационных стандартов ETSI, которые занимаются стандартизацией систем радиосвязи. Консорциумом 3GPP выпущены следующие основные документы, посвященные стандарту FRMCS:

- TS 22.289 и TR 22.889 [8], в которых представлены нормативные требования для системы 5G;
- TR 23.790 и TR 23.796 [9,10], в которых определены проблемные вопросы, касающиеся требований и спецификаций FRMCS.



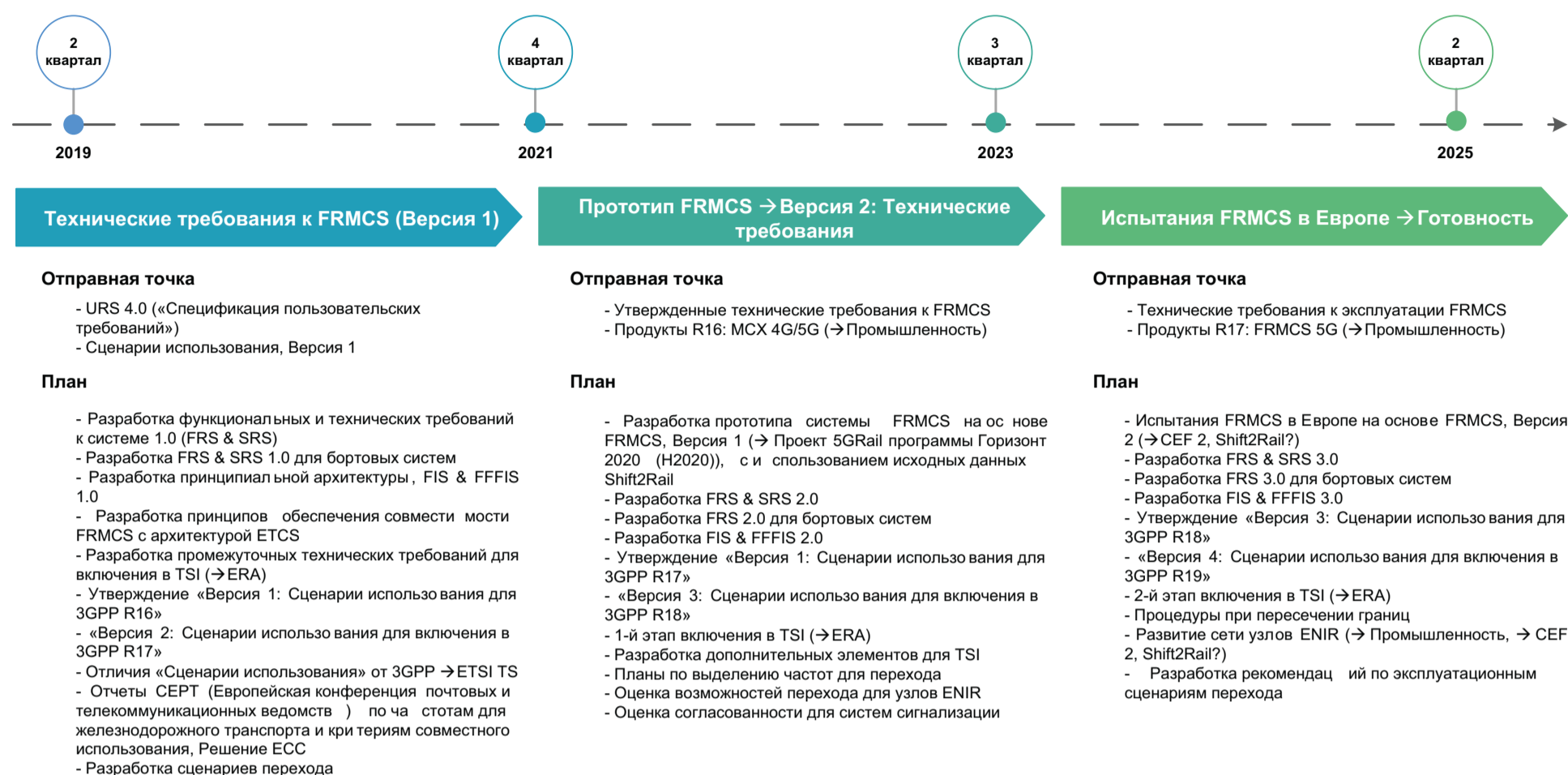


Рисунок 1. Стратегический план по внедрению FRMCS

ETSI выпущен технический отчет TR 103 459, посвященный архитектуре системы FRMCS [11].

Базовые принципы стандарта FRMCS, которые должны учитываться при разработке приложений для голосовых вызовов и передачи данных, включают в себя следующие положения:

- Стандарт должен учитывать различные режимы функционирования железнодорожной системы, характеристики маршрута, климатические и погодные условия, иметь возможность одновременного использования с другими системами с точки зрения частотного диапазона, а также быть достаточно гибким для возможности добавления будущих приложений.
- Стандарт должен обеспечивать автоматический переход между службами передачи данных и сетями (на границах страны или сети связи) и иметь возможность взаимодействовать с GSM-R.
- Использование стандартизированного, интуитивно понятного интерфейса, возможность переключения между разными режимами использования микрофона и динамиков.
- Поддержка применения согласованных правил и принципов работы железнодорожного транспорта. Включает в себя выдачу и отмену разрешений на движение, голосовую связь и передачу сообщений.
- Поддержка межмашинных коммуникаций (M2M). Действия по техническому обслуживанию бортового оборудования и инфраструктурных активов, удаленный мониторинг, а также беспроводное обновление программного обеспечения, изменение конфигурации, диагностика и исправление ошибок.
- Снижение риска ошибок коммуникации. Идентификация вызывающего абонента, информация о местоположении поезда, механизм подавления фонового

шума, технические решения для групповых вызовов («Push-to-talk», обнаружение речи и т.д.).

- Возможность повторного использования установленного оборудования, например, стандарта GSM-R. Снижение затрат путем использования существующего оборудования, у которого еще не закончился срок эксплуатации.
- Обеспечение мер по предотвращению несанкционированного доступа. Система должна обеспечивать защиту от несанкционированных и потенциальных злоумышленных действий, предоставлять способы аутентификации, шифрования и управления ключами.

Предполагается, что сеть FRMCS будет обеспечивать более высокие скорости и меньшие задержки передачи данных, мультимедийную связь и повышенную надежность соединения. Кроме того, сеть будет предоставлять экстренную групповую связь с низкой задержкой и высоконадежную передачу данных и видео на линиях ВСМ, а также обеспечивать приоритетную групповую радиосвязь при возникновении чрезвычайной ситуации, мониторинг и управление поездом в режиме реального времени, отслеживание местоположения подвижных составов.

Требования к трафику в сетях FRMCS определены в технических спецификациях TS 22.289. Требования разработаны для различных категорий услуг голосовой связи, видео и данных (Таблица 1), которые используются в следующих сценариях железнодорожной радиосвязи с учетом скорости движения поезда:

- голосовая радиосвязь для эксплуатационных целей, влияющих на безопасность поездов;
- видеосвязь для целей наблюдения с возможностью косвенного влияния на работу поезда, например, наблюдение за пассажирами;



Таблица 1.

Требования к трафику FRMCS для различных сценариев железнодорожной связи [12]

Сценарий	Время задержки E2E	Надежность (Прим.1)	Ограничения по скорости	Пользовательская скорость передачи данных	Размер полезной нагрузки (Прим. 2)	Плотность трафика в зоне обслуживания	Зона обслуживания (Прим. 3)
Голосовая связь для эксплуатационных целей	≤100 мс	99,9%	≤500 км/ч	от 100 кбит/с до 300 кбит/с	Малая	до 1 Мбит/с на 1 км пути	200 км ж/д путей
Важная видеосвязь для целей наблюдения	≤100 мс	99,9%	≤500 км/ч	10 Мбит/с	Средняя	до 1 Гбит/с/км	200 км ж/д путей
Критически важная видеосвязь, оказывающая прямое влияние на управление поездом	≤100 мс	99,9%	≤500 км/ч	от 10 Мбит/с до 20 Мбит/с	Средняя	до 1 Гбит/с/км	200 км ж/д путей
	≤10 мс	99,9%	≤40 км/ч	от 10 Мбит/с до 30 Мбит/с	Средняя	до 1 Гбит/с/км	2 км ж/п в городе или на станции
Стандартная передача данных	≤500 мс	99,9%	≤500 км/ч	от 1 Мбит/с до 10 Мбит/с	От малой до большой	до 100 Мбит/с/км	100 км ж/д путей
Обмен важной информацией	≤500 мс	99,9999%	≤500 км/ч	от 10 кбит/с до 500 кбит/с	От малой до средней	до 10 Мбит/с/км	100 км ж/д путей
Критически важная передача данных	≤100 мс	99,9999%	≤500 км/ч	от 100 кбит/с до 1 Мбит/с	От малой до средней	до 10 Мбит/с/км	200 км ж/д путей
	≤10 мс	99,9999%	≤40 км/ч	от 100 кбит/с до 1 Мбит/с	От малой до средней	до 100 Мбит/с/км	2 км ж/д путей
Обмен короткими сообщениями	—	99,9%	≤500 км/ч	100 кбит/с	Малая	до 1 Мбит/с/км	2 км ж/д путей

Примечание 1: Надежность определена в пп. 3.1 TS 22.289

Примечание 2: Малая нагрузка ≤ 256 октетов, средняя нагрузка ≤ 512 октетов, большая нагрузка 513 - 1500 октетов.

Примечание 3: Оценка для максимальных размеров зоны обслуживания.

- критически важная видеосвязь, оказывающая прямое влияние на управление поездом и работу критически важных функций поездов, связанных с безопасностью поездов, т.е. используемая на беспилотных поездах для автоматического обнаружения препятствий на пути (уровень автоматизации GoA3/4 без участия человека) или дистанционного управления на основе видео (при участии человека в контуре управления);
- стандартная передача данных, используемая для обмена диагностической информацией поезда или иной информацией;
- обмен важной информацией для существующих систем управления и обеспечения безопасности движения поездов;
- критически важная передача данных для усовершенствованных интеллектуальных систем управления железнодорожным движением (например, полностью автоматизированные системы управления поездом (без машиниста) для дистанционного управления), которая требует высокой надежности передачи и сохранения информации обмена данными;
- обмен информацией с обеспечением высокой надежности передачи коротких сообщений, например, о порядке отправления поезда.

Согласно ETSI TR 103 459, общая архитектура FRMCS включает несколько уровней:

1. Логическая архитектура описывает систему FRMCS в виде логических функциональных блоков и сопряжения (интерфейсов) между ними. Логическая архитектура не зависит от решения. Техническая реализация описывает одну или несколько возможностей реализации системы FRMCS с использованием стандартных блоков

3GPP или других организаций. Физическая реализация описывает, как система FRMCS (или ее части) может быть реализована соответствующими физическими модулями (блоками) сети и приложениями от различных производителей.

2. Бортовая архитектура включает следующие функциональные компоненты:

- железнодорожные приложения для поездов (передача голоса, данных и видео);
- маршрутный шлюз (или несколько шлюзов);
- пользовательское оборудование в поезде.

Архитектура бортовой части системы FRMCS представлена на Рис. 2.

## Проект 5GRail

В 2020 году в рамках финансируемой ЕС программы Horizon 2020 был запущен проект 5Grail с бюджетом в 13,2 млн. Евро (окончание проекта – 30 апреля 2023 г.) [13]. Проект предусматривает валидацию первых спецификаций на систему железнодорожной радиосвязи нового поколения FRMCS путем разработки и тестирования прототипов бортовых и напольных устройств.

Одной из решаемых в рамках проекта задач является выбор новой системы радиосвязи. В качестве основного претендента рассматривается стандарт 5G. По мнению участников проекта, большая пропускная способность и меньшие задержки делают стандарт 5G более подходящим для обеспечения межмашинных коммуникаций (M2M) и перехода к беспилотным технологиям управления, включая внедрение ATO (GoA3/4), ETCS уровень 3 с подвижным блок-участком, виртуальной сцепки. >>>

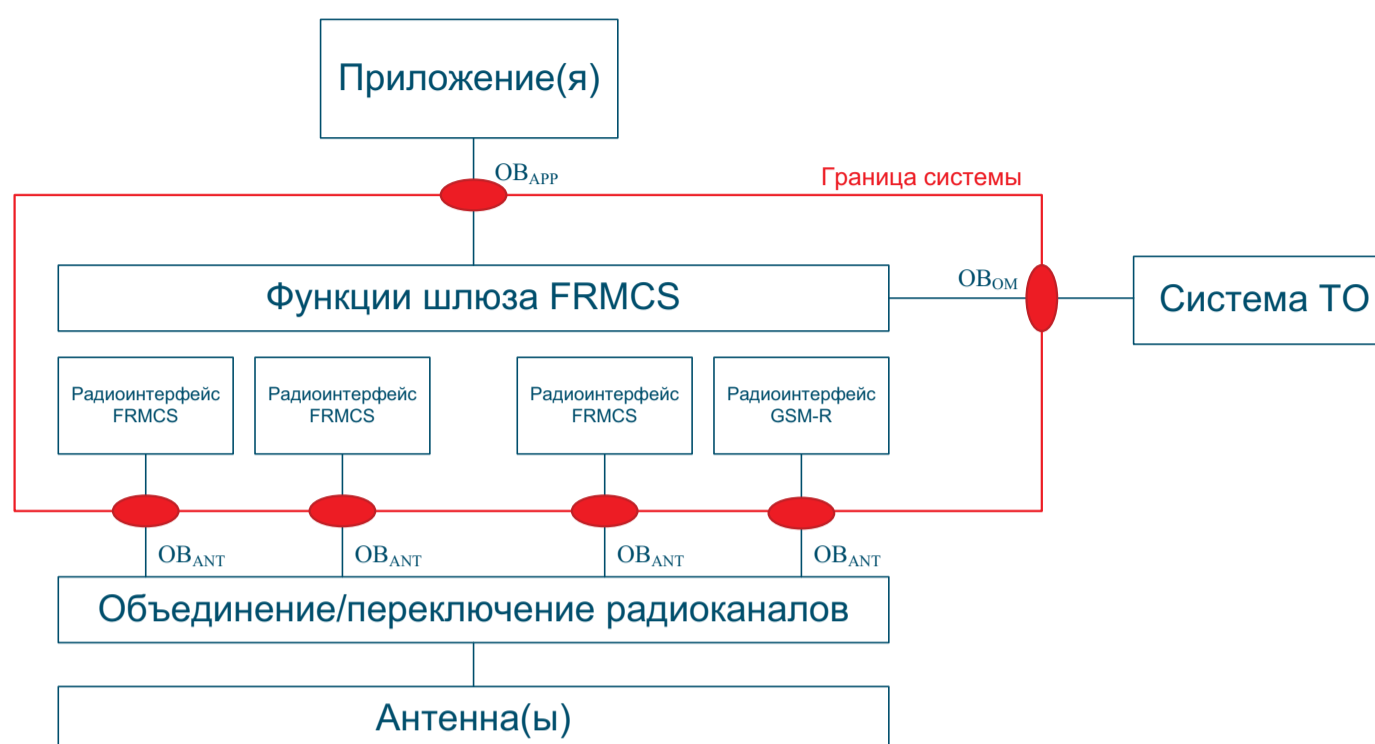


Рисунок 2. Архитектура бортовой части системы FRMCS

где  $OB_{APP}$  – интерфейс уровня 3(IP) между бортовой частью системы FRMCS и приложениями;  
 $OB_{ANT}$  – увязка бортовой части системы с функцией объединения-переключения радиоканалов или антенной;  
 $OB_{OM}$  – интерфейс между бортовой частью системы и системой ТО (технического обслуживания).

Технология 5G/FRMCS также удовлетворяет требованиям, предъявляемым к системе радиосвязи для высокоскоростных магистралей, умных поездов, станций, депо (прогнозное техническое обслуживание), поддерживает телематические функции и другие критически важные технологические сервисы, основанные на применении искусственного интеллекта (ИИ), интернета вещей (IoT), обработке больших массивов данных (Big Data) [14].

Для реализации проекта был создан консорциум, который включает в себя МСЖД, Европейскую ассоциацию железнодорожной промышленности (UNIFE), ведущих европейских железных дорог и операторов железнодорожной инфраструктуры, компании промышленности (Nokia, Kontron, Thales, Alstom, CAF, Siemens и др.), а также научные центры и университеты.

В Таблице 2 представлено сравнение системных конфигураций GSM-R, LTE-R, 5G и 5G-R, которое свидетельствует о том, что стандарт 5G-R имеет улучшенные характеристики по сравнению с другими системами железнодорожной радиосвязи.

Сценарии применения 5G-R для интеллектуального железнодорожного транспорта в целом можно разделить на 4 категории (Таблица 3): интеллектуальное строительство (объединяет этапы проектирования и строительства железных дорог с применением новых технологий, в т.ч. BIM, цифровое проектирование и управление, IoT, определение местоположения персонала и оборудования; данный сценарий представлен в корейской стратегии BIM 2030), интеллектуальное оборудование (относится к оборудованию, которое основано на сенсорных технологиях, автоматизации, информационных технологиях), интеллектуальное ТО и умные системы для передвижения пассажиров. В Таблице 3 представлены сценарии

применения 5G-R на железнодорожном транспорте. Установлено, что только система радиосвязи на основе 5G-R применима ко всем сценариям.

## Тестирование системы радиосвязи LTE/5G на железных дорогах

Появление спецификаций FRMCS позволило перейти к тестированию технологий LTE/5G на железных дорогах. К примеру, компания Nokia, являющаяся одним из поставщиков оборудования GSM-R, также участвует в разработке и тестировании оборудования и железнодорожных приложений мобильной связи 5G. Тестируются возможности связи пятого поколения в решении прикладных задач по обеспечению беспилотного управления движением поездов (повышение точности позиционирования подвижного состава, автоматическое обнаружение препятствий на пути, АТО GoA3/4, система ETCS, маневровые работы), систем информирования пассажиров (информация об интермодальном транспорте, о поезде и наличии мест, видеообъявления на устройствах пассажиров), умных станций (системы видеонаблюдения, автоматизированный мониторинг, обеспечивающий безопасную посадку и высадку пассажиров), умного ТО (ТО с поддержкой дополненной реальности, предиктивное ТО, применение БПЛА), умной инфраструктуры (автоматическое обнаружение опасности, управление движением и пассажиропотоком в режиме реального времени).

В 2020 году французская корпорация SNCF объявила о сотрудничестве с Nokia с целью оценки приложений FRMCS в лабораторных и полевых условиях. >>>

Таблица 2.  
Сравнение системных конфигураций GSM-R, LTE-R, 5G и 5G-R

Стандарт	GSM-R	LTE-R	5G	5G-R
Частота	Передача: 876–880 МГц Прием: 921–925 МГц	400 МГц, 800 МГц, 1,4 ГГц, 1,8 ГГц	Менее 6 ГГц: 410–7125 МГц Миллиметровые волны: 24,25–71 ГГц	900 МГц, 1,9 ГГц, 2,1 ГГц
Диапазон	0,2 МГц	1,4–10 МГц	Менее 6 ГГц: 5–100 МГц Миллиметровые волны: 50–2000 МГц	10–20 МГц; возможно ≥100 МГц в более высоких диапазонах частот
Вид модуляции	GMSK, TDMA	QPSK, 16-QAM	256-QAM, OFDM, FBMC, UFMC, GFDM, f-OFDM	QPSK, 16-QAM, 64-QAM, 256-QAM, OFDM
Разрешение по дальности	8 км	4–12 км	от десятков метров до нескольких километров	1–6 км
Технология MIMO	Нет	2×2	16×16, 32×32, 64×64, 128×128	4×4, 8×8, 16×16, 32×32
Средняя скорость передачи данных	<10 кбит/с	1–10 Мбит/с	50–100 Мбит/с	10–50 Мбит/с
Максимальная скорость передачи данных	172 кбит/с	Передача: 10 Мбит/с Прием: 50 Мбит/с	Передача: 10 Гбит/с Прием: 20 Гбит/с	Передача: 50 Мбит/с Прием: 200 Мбит/с
Максимальная спектральная эффективность	0,33 бит/с/Гц	2,55 бит/с/Гц	Передача: 15 бит/с/Гц Прием: 30 бит/с/Гц	Передача: 8 бит/с/Гц Прием: 15 бит/с/Гц
Мобильность	макс. 500 км/ч	макс. 500 км/ч	макс. 500 км/ч	макс. 500 км/ч
Надежность	99.999%	99.999%	99.999%	99.9999%
Частота потери связи	≤10 <sup>-2</sup> /ч	≤10 <sup>-2</sup> /ч	Нет данных	Голосовая связь: ≤10 <sup>-2</sup> /ч Видеосвязь: ≤10 <sup>-3</sup> /ч
Задержка E2E	500 мс	200–500 мс	1–10 мс	50–500 мс
Коэффициент успешности хэндовера	≥ 99,5%	≥ 99,5%	90–99,5%	≥ 99,9%
Видео с разрешением 4K	Нет	Нет	Поддерживает	Возможная поддержка с увеличенной пропускной способностью

GMSK – гауссова манипуляция с минимальным частотным сдвигом;

TDMA – множественный доступ с разделением по времени;

QPSK – квадратурная фазовая манипуляция;

QAM – квадратурная амплитудная модуляция;

OFDM – мультиплексирование с ортогональным частотным разделением каналов;

FBMC – метод частотного мультиплексирования с множеством несущих, использующий гребенку фильтров;

UFMC – технология многочастотной передачи с универсальной фильтрацией;

GFDM – технология на основе передачи данных с помощью частотного разделения на несколько несущих;

f-OFDM – фильтрованное мультиплексирование с ортогональным частотным разделением каналов.

Также в 2020 году швейцарским железнодорожным оператором SBB совместно с компанией Nokia было проведено экспериментальное тестирование стандарта FRMCS. Испытания проходили в швейцарских кантонах Фрибур и Нёвшатель с использованием удаленных радиостанций стандарта LTE с разделением каналов по времени (TDD) в частотном диапазоне 1900 МГц и подвижного состава, оснащенного измерительной аппаратурой. В 2022 году на испытательном полигоне в Рудных горах немецкий консорциум DSD совместно с Nokia и Kontron Transportation построил и испытал сеть радиосвязи 5G. Испытания проходили на участке протяженностью 10 км с использованием восьми базовых станций.

В Республике Корея в 2020 г. были успешно проведены испытания системы автоматизированного управления движением поездов на базе стандарта 5G. Тестирование проводилось с использованием двух экспериментальных вагонов на опытном полигоне Корейского научно-исследовательского института железнодорожного транспорта

KRRI в Осоне при участии национального оператора сотовой связи SK Telecom. 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. Кроме того, в Республике Корея проведена стандартизации системы радиосвязи LTE для железнодорожного применения (LTE-R), а в 2022 году на участке ВСМ Чолласон протяженностью 180 км впервые введена в коммерческую эксплуатацию система KTCS-2 – корейский аналог европейской системы ETCS уровень 2, работающий в радиосети LTE-R на скоростях до 350 км/ч.

В Китае в 2020 году введена в эксплуатацию первая железнодорожная сеть связи 5G полным покрытием на высокоскоростной магистрали Гуанчжоу-Шэньчжэнь-Гонконг протяженностью 142 км. По маршруту построено >>>

Таблица 3.  
Железнодорожные применения 5G-R

Технические требования и поддержка системы		Технические требования							Поддержка системы		
		Надежная передача видео и аудио	Сбор данных с помощью IoT	Контроль в режиме реального времени с помощью IoT	Точность позиционирования	Высокоскоростная передача видео и аудио	Разгрузка сети за счет высокой пропускной способности	Дополненная реальность	GSM-R	LTE-R	5G-R
Сценарии применения											
Интеллектуальное строительство	Проектно-исследовательские работы				+			+			+
	Диспетчерская связь	+			+				+	+	+
Интеллектуальное оборудование	Подвижный состав		+	+	+			+			+
	Системы контроля движения поездов	+			+				+	+	+
Интеллектуальные эксплуатационные процессы и ТО	Мониторинг бортового оборудования	+	+	+	+			+		+	+
	Мониторинг наземной инфраструктуры		+	+	+					+	+
	Мультимедийная диспетчерская связь	+			+	+		+		+	+
	Аварийная связь	+			+				+	+	+
	Обнаружение препятствий и обеспечение безопасности движения		+	+	+						+
	Видеонаблюдение				+	+					+
Умные системы для передвижения пассажиров	Мультимедийные развлечения	+				+		+	+		+
	Навигация на станциях		+		+						+
	Логистика	+	+	+	+						+

более 300 базовых станций, благодаря чему связь доступна на протяжении всей магистрали, в т.ч. в туннелях и на вокзалах. Для создания такой сети был организован альянс 5G-индустрии, в который вошли China Mobile, Huawei и др. В преддверии Зимних Олимпийских игр 2022 года была также запущена сеть станций 5G на ВСМ Пекин – Чжэнцзяо протяженностью 170 км, где было размещено около 400 базовых станций, что обеспечило стабильность сигнала в поезде Fuxing (Olympic Express) на скорости 350 км/ч.

В России в ноябре 2020 года была утверждена дорожная карта развития мобильных сетей пятого поколения. Исполнителями проекта являются: Ростех – в части создания российского оборудования связи 5G, ПАО «Ростелеком» – в части построения сетей связи 5G и развития сервисов на их основе. В 2021 году были проведены контрольные эксплуатационные испытания опытных образцов системы цифровой беспроводной широкополосной передачи данных на базе стандарта LTE в диапазоне радиочастот 1785-1805 МГц на станции Бекасово-Сортировочное Московской дороги. По результатам испытаний в дальнейшем планируется определить производителей оборудования LTE/5G, соответствующих требованиям ОАО «РЖД», которые предусматривают возможность безопасного объединения на одной платформе цифровой радиосвязи более 100 технологических сервисов [15].

## Заключение

В настоящее время наиболее распространенным стандартом цифровой связи на железных дорогах является стандарт GSM-R. Однако ограниченный жизненный цикл и ряд других недостатков данного стандарта ставят под сомнение целесообразность его дальнейшего применения на фоне активного развития мобильных коммуникаций.

При выборе нового стандарта учитывается ряд факторов – доступность частот, стоимость развертывания сетей радиосвязи и вопрос интероперабельности (совместимости) с системами предыдущего поколения, объединение технологических задач железных дорог и коммерческого использования трафика для предоставления услуг пассажирам с соответствующим разделением на критические и коммерческие приложения, как железнодорожного, так и иного применения.

LTE является на данный момент наиболее зрелым стандартом широкополосной радиосвязи с отработанными механизмами взаимодействия с GSM. Однако существующие трудности в получении разрешений на использование частотных диапазонов LTE делают на данном этапе более предпочтительным кандидатом на роль будущей цифровой системы радиосвязи стандарт 5G, который по своим характеристикам превосходит LTE, обладает большей пропускной способностью и имеет значительно меньшие задержки. ■

## Список литературы

1. Gash G. The Digital Railway. Future Railway Mobile Communication System (FRMCS) and 5G for Rail Status and Challenges. – Presentation. RailTech Europe 2022, 21 June 2022.
2. Озеров, А. В. Европейская система интервального регулирования / А. В. Озеров // Автоматика, связь, информатика. – 2019. – № 6. – С. 14-15. – DOI 10.34649/AT.2019.6.6.004. – EDN AGAXCK.
3. FRMCS and 5G for Rail: Challenges, Achievements and Opportunities, UIC, 2020. [Электронный ресурс] / URL: [https://uic.org/IMG/pdf/brochure\\_frmcs\\_v2\\_web.pdf](https://uic.org/IMG/pdf/brochure_frmcs_v2_web.pdf) (дата обращения: 26.01.2023).
4. URL: [https://www.etsi.org/deliver/etsi\\_tr/103400\\_103499/103459/01.02.01\\_60/tr\\_103459v010201p.pdf](https://www.etsi.org/deliver/etsi_tr/103400_103499/103459/01.02.01_60/tr_103459v010201p.pdf) (обращения: 26.01.2023).
5. Future Railway Mobile Communication System. User Requirements Specification, 2019, UIC. [Электронный ресурс] / URL: [https://uic.org/IMG/pdf/frmcs\\_user\\_requirements\\_specification\\_version\\_4.0.0.pdf](https://uic.org/IMG/pdf/frmcs_user_requirements_specification_version_4.0.0.pdf) (дата обращения: 26.01.2023).
6. TOBA-7515. Description and Evaluation of Possible FRMCS Migration Variants for Existing ETCS and Cab Radio On-Board Units., UIC, 2019. [Электронный ресурс] / URL: [https://uic.org/IMG/pdf/description\\_and\\_evaluation\\_of\\_possible\\_frmcs\\_migration\\_variants\\_for\\_existing\\_etcs\\_and\\_cab\\_radio\\_on-board\\_units-toba\\_7515-v1.2.pdf](https://uic.org/IMG/pdf/description_and_evaluation_of_possible_frmcs_migration_variants_for_existing_etcs_and_cab_radio_on-board_units-toba_7515-v1.2.pdf) (дата обращения: 26.01.2023).
7. Use Cases FRMCS, UIC, 2020. [Электронный ресурс] / URL: [https://uic.org/IMG/pdf/frmcs\\_use\\_cases-mg\\_7900-v2.0.0.pdf](https://uic.org/IMG/pdf/frmcs_use_cases-mg_7900-v2.0.0.pdf) (дата обращения: 26.01.2023).
8. FRMCS Telecom On-Board System – Architecture Migration Scenarios, UIC, 2020. [Электронный ресурс] / URL: [https://uic.org/IMG/pdf/frmcs\\_telecom\\_on-board\\_system\\_-architecture\\_migration\\_scenarios-toba7540-1.0.0.pdf](https://uic.org/IMG/pdf/frmcs_telecom_on-board_system_-architecture_migration_scenarios-toba7540-1.0.0.pdf) (дата обращения: 26.01.2023).
9. 3GPP. Technical Specification Group Services and System Aspects, FRMCS. Stage 1 (Release 17). [Электронный ресурс] / URL: <https://portal.3gpp.org/desktopmodules/Specifications/SpecificationDetails.aspx?specificationId=3186> (дата обращения: 26.01.2023).
10. 3GPP. Technical Specification Group Services and System Aspects. Study on Application Architecture for the Future Railway Mobile Communication System. Stage 2 (Release 15). [Электронный ресурс] / URL: <https://portal.3gpp.org/desktopmodules/Specifications/SpecificationDetails.aspx?specificationId=3185> (дата обращения: 26.01.2023).
11. ETSI TR 103 459. Study on System Architecture. V1.2.1, 2020. [Электронный ресурс].
12. Тихвинский, В. Сети мобильной железнодорожной связи FRMCS: перспективы создания и внедрения / В. Тихвинский, С. Портной // Первая милья. – 2021. – № 3(95). – С. 54-65. – DOI 10.22184/2070-8963.2021.95.3.54.64. – EDN NTOMLR.
13. European Commission. 5G for future RAILway mobile communication system. [Электронный ресурс] / URL: <https://cordis.europa.eu/project/id/951725/results> (дата обращения: 30.01.2023).
14. Озеров, А. В. Предиктивная аналитика с использованием Data Science на железнодорожном транспорте / А. В. Озеров, А. М. Ольшанский, А. П. Куроптева // Наука и технологии железных дорог. – 2020. – Т. 4. – № 4(16). – С. 63-76. – EDN FDTZSK.
15. Азерников, Д. В. Отечественные разработки для технологических сетей радиосвязи / Д. В. Азерников // Автоматика, связь, информатика. – 2022. – № 9. – С. 2-3. – EDN GJQJYY.