

# Цифровая связь для нужд РЖД

Илья ВОРОНОВ  
Юрий МЯКОЧИН  
Василий ПЕСОЧЕНКО  
cprea@milandr.ru

В статье рассматриваются вопросы развития систем связи РЖД и задачи модернизации локомотивной аналоговой радиостанции «Транспорт-РВ-1.2МК» с целью добавления возможностей цифровой радиосвязи стандарта DMR.

## От телеграфа к сетям радиосвязи

Работа железнодорожного транспорта немыслима без передачи информации для обеспечения безопасности и оперативного управления перевозками.

История отечественных железнодорожных средств связи началась практически одновременно с появлением первых железных дорог и насчитывает более 150 лет. В 1845 году был устроен «электромагнитический телеграф по методу Морса» на линии Царскосельской дороги. Правда, просуществовал он недолго. Причиной закрытия телеграфа стали частые грозовые разряды, а также постоянные кражи медной проволоки воздушной линии связи.

Долгие годы телеграф оставался единственным средством связи на железной дороге. Лишь после 1888-го начались первые опыты по применению на железных дорогах телефонной связи. Развитие сети железных дорог, увеличение численности подвижного состава, повышение скорости движения ускорило создание систем связи, отвечающих новым условиям. В начале 1920-х гг. формируется сеть оперативно-технологической телефонной связи как элемента технологического процесса по управлению движением поездов. Тогда же проводились первые эксперименты по установлению связи с подвижными объектами на участке Москва — Серпухов Московско-Курской железной дороги.

С развитием радиотехники и появлением радиопромышленности в 1930-х радиосвязь пришла и на железнодорожный транспорт, стали решаться задачи оперативной связи неподвижных и подвижных объектов. Великая Отечественная война существенно затормозила развитие железнодорожной радиосвязи, и работы по ее развитию продолжились только после 1945-го. Затем в 1947 году появились новые системы радиосвязи, которые использовали КВ-диапазон на частотах 2 МГц в режиме амплитудной модуляции и имели 10 фиксированных частот с шагом 20 кГц (радиостанция ЖР-1). Тогда же были внедрены алгоритмы тонального избирательного вызова абонентов, которые используются и в настоящее время.

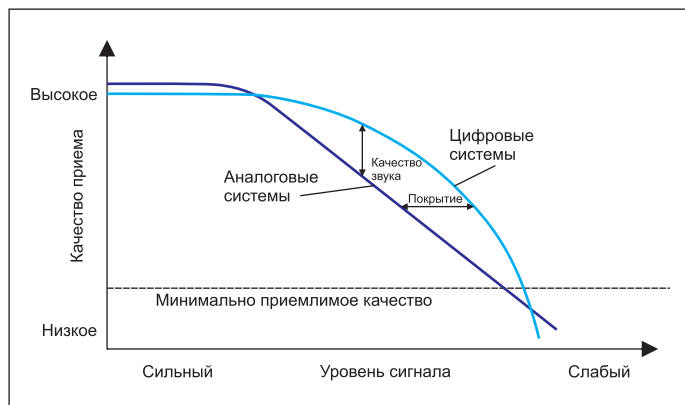


Рис. 1. Сравнение цифровых и аналоговых систем связи

Дальнейшее развитие железнодорожных средств связи происходило стремительно — была освоена устойчивая к помехам ЧМ-модуляция, появилась новая элементная полупроводниковая база. К концу 1980-х на железнодорожном транспорте имелись уже средства радиосвязи четвертого поколения — система «Транспорт» с использованием интегральных микросхем и микросборок. Радиостанции этой серии производятся отечественными предприятиями, постоянно совершенствуются технические характеристики, и сегодня применяются уже новые комплектующие, в том числе микропроцессоры. Данная система позволяет организовывать поездную, станционную, ремонтно-оперативную радиосвязь в диапазонах гектометровых, метровых, дециметровых радиоволн как в симплексном, так и в дуплексном режимах, с поддержкой групповых и индивидуальных селективных вызовов.

## Назревшая необходимость

С появлением и развитием цифровой транковой связи возникла задача обеспечения подвижного состава и станционных сооружений надежной помехозащищенной связью, которая одновременно поддерживает как голосовые отправления, так и передачу разнообразной телеметрической и диагностической информации. На рис. 1 показано превосходство цифровых систем связи над аналоговыми системами с увеличением дальности соединения.

Кроме того, с развитием систем глобального позиционирования появилась возможность контролировать и прогнозировать с высокой точностью трафик движения поездов. Поэтому начиная с 2010 года руководство РЖД стало планомерно проводить работу по внедрению цифровых стандартов в системы связи.

В качестве базового стандарта цифровой радиосвязи для РЖД выбран стандарт DMR (Digital Mobile Radio), использующий модуляцию 4-FSK. Этот стандарт регулируется документами Европейского института телекоммуникационных стандартов (ETSI) ETSI TS 102 361, ГОСТ Р 56172-2014 («Радиостанции и ретрансляторы стандарта DMR. Основные параметры. Технические требования»), а также ведомственными документами Мининформсвязи Российской Федерации («Правила применения абонентских станций», «Правила применения оборудования подсистем базовых станций сетей подвижной радиосвязи стандарта DMR», «Правила применения абонентских радиостанций с цифровой модуляцией сетей подвижной радиосвязи стандарта DMR» [1]).

Существующая система подвижной радиосвязи РЖД регламентируется документом ГОСТ Р 54959-2012 «Железнодорожная электросвязь. Поездная радиосвязь. Технические требования и методы контроля» [2]. Правила устанавливают применение стационарных радиостанций и радиостанций подвижного (локомотивного) состава для обмена по аналоговым каналам связи на следующих частотных диапазонах:

- гектометровый диапазон (2 МГц, аналоговая связь);
- метровый диапазон (160 МГц, аналоговая и цифровая связь DMR);
- дециметровый диапазон (330 МГц, аналоговая и цифровая связь GSM-R).

Существующая система аналоговой радиосвязи обеспечивает оперативное управление перевозками и безопасность движения поездов. Ею пользуются сотрудники РЖД, находящиеся на стационарных пунктах, в поездах, на перегонах вдоль пути следования составов. В сетях, организованных в гектометровом и метровом диапазоне, предусмотрен симплексный режим, в дециметровом — дуплексный.

К недостаткам существующей системы поездной радиосвязи можно отнести:

- неудовлетворительное качество связи из-за высокого уровня помех в диапазоне 2 МГц, причем помеховая обстановка в этом диапазоне частот продолжает ухудшаться из-за внедрения современного подвижного состава с асинхронным тяговым приводом, увеличения токов в тяговой сети;
- работа на одной несущей частоте в линейных сетях;
- отсутствие индивидуальных и групповых вызовов;
- отсутствие идентификации вызывающего и вызываемого абонентов;
- отсутствие возможности организовать непрерывные каналы связи с подвижными объектами;
- ограниченные возможности по внедрению систем передачи данных, телеуправления и телесигнализации.

### Цифровая модернизация существующих решений

В настоящее время РЖД ведет активную деятельность по переводу поездной аналоговой сети радиосвязи из метрового диапазона в перспективный цифровой протокол DMR при сохранении возможности использовать существующие каналы аналоговой радиосвязи диапазона. Для этого специалистами ОАО «НИИАС» разработан документ «Цифровая система поездной радиосвязи и передачи данных в радиочастотном диапазоне 160 МГц. Технические требования» [3] (ПРСЦ-160), который описывает основные регламенты и технические характеристики перспективных цифровых радиостанций, создаваемых для РЖД.

В рамках модернизации систем аналоговой поездной радиосвязи АО «ПКК Миландр» и ОАО «Электросигнал» начали модернизацию радиостанции «Транспорт-РВ-1.2МК».

Для этого спроектированы новые модули, обеспечивающие добавление к существующим возможностям аналоговой связи на частотах ГМВ и МВ возможности работы в цифровых системах поездной и стационарной радиосвязи радиочастотного диапазона 160 МГц, действующих на основе стандарта DMR — контроллер радиостанции (блок БА), универсальный цифровой приемопередатчик диапазона МВ (блок ППУ) и адаптер периферийных каналов обмена с модулем глобального позиционирования GPS/GLONASS.

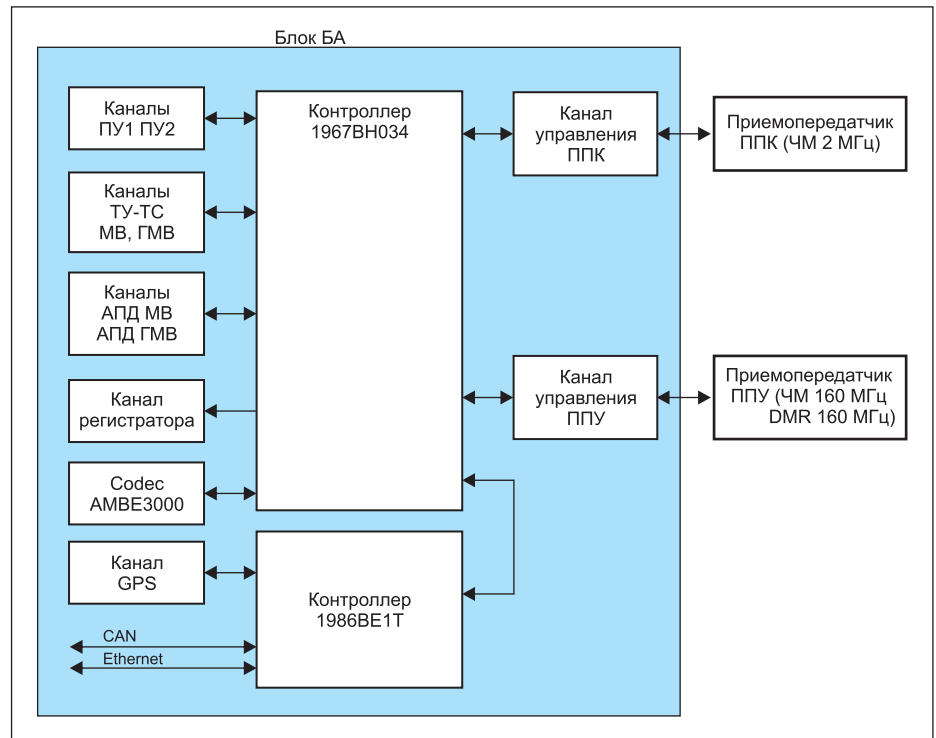


Рис. 2. Блок-схема модернизированной радиостанции «Транспорт-РВ-1.2МК»

Блок-схема модернизируемой части радиостанции «Транспорт-РВ-1.2МК» представлена на рис. 2.

Вычислительным ядром контроллера радиостанции является высокопроизводительный сигнальный процессор 1967ВН034 производства АО «ПКК Миландр», который имеет следующие характеристики [4]:

- рабочая частота: до 300 МГц;
- встроенная оперативная память типа SRAM: 12 Мбит;
- два независимых вычислительных блока, каждый из которых содержит АЛУ, умножитель, сдвигатель и коммуникационный блок;
- два целочисленных АЛУ, обеспечивающих адресацию данных и содержащих буферы выравнивания данных (DAB):
  - числа с плавающей точкой одинарной (32 бит) и двойной (64 бит) точности;
  - числа с фиксированной точкой: 8, 16, 32 и 64 бит;
- система команд совместима с Analog Devices TS201;
- интегрированная система ввода/вывода контроллера содержит 14-канальный контроллер DMA, 2 высокоскоростных 8-разрядных двунаправленных LVDS-порта передачи данных с поддержкой режима DDR, встроенный 32-разрядный контроллер SDRAM, контроллеры UART, SPI, SSI, LCD. Сигнальный процессор 1967ВН034 обеспечивает автоматическое переключение режима связи (цифровая/аналоговая) и выполнение традиционных для аналоговой связи функций управления приемопередатчиками МВ- и ГМВ-диапазона, работу с каналами

телеуправления и телесигнализации, регистрирующей аппаратуры, аппаратуры передачи данных подвижного состава, приемником системы навигации, каналом обеспечения дистанционного контроля локомотивных радиостанций СТОР-1М.

Для реализации цифрового канала связи сигнальный процессор 1967ВН034 поддерживает программную реализацию стека протоколов стандарта DMR (физический уровень, канальный уровень и уровень контроля вызова). Стек протоколов позволяет организовать одновременные прием и передачу голосовых и цифровых данных по одному каналу связи в полосе 12,5 или 25 кГц. При работе в цифровом режиме связи, кроме голосовой связи, предусмотрен прием групповых и индивидуальных вызовов, роуминг, в том числе и активный в системе ПРСЦ-160 РЖД, прием и передача коротких сообщений.

Современный подвижной состав РЖД имеет бортовую аппаратуру систем безопасности (КЛУБ, БЛОК), контроллер БА обеспечивает передачу данных этих систем по каналам цифровой радиосвязи. Для работы с аппаратурой систем безопасности используется микроконтроллер 1986ВЕ1Т со встроенными контроллерами интерфейсов CAN и Ethernet.

Микроконтроллер 1986ВЕ1Т производства АО «ПКК Миландр» имеет ядро ARM Cortex M0, 32-разрядный аппаратный умножитель, многоканальные АЦП и ЦАП, Flash ПЗУ объемом 128 кбайт и рабочую частоту до 144 МГц [5].

ППУ построен на базе микросхемы AFE7222 Texas Instruments, которая представляет собой Front-End цифрового при-

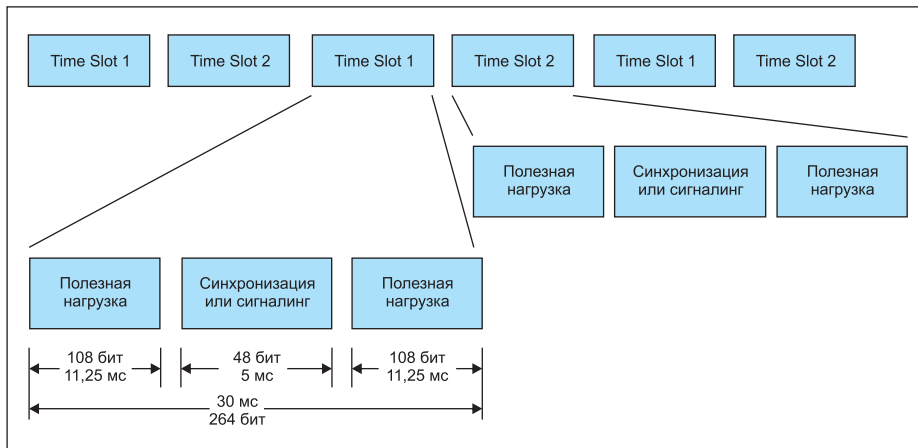


Рис. 3. Структура пакета стандарта DMR

емопередатчика с встроенными 12-битными блоками интерполяции и децимации. Приемная часть ППУ выполнена по схеме преобразования с нулевой промежуточной частотой, передающая часть использует эффективный 4-FSK-модулятор с картезианской петлей коррекции передаваемого сигнала — микросхему CMX998 компании CML Microcircuits. С помощью картезианской петли коррекции реализуется автоматическая компенсация временных и температурных изменений параметров усилителя мощности передатчика, достигается более высокий КПД использования источника питания. Оценка подавления искажений 3-го порядка вследствие применения такой обратной связи составляет около 30 дБ.

Программное обеспечение модернизированной цифровой радиостанции реализует программную модель, которая состоит из следующих функциональных блоков.

Функциональные программные блоки передатчика:

- интерфейсы получения передаваемых голосовых, пакетных и управляющих данных;
- кодеры различных типов данных;
- мультиплексор пакетов различных типов данных;
- цифровой модулятор передатчика.

Функциональные программные блоки приемника:

- обнаружитель пакетов по синхропоследовательности и система начальной синхронизации;
- цифровой демодулятор;
- демультиплексор различных типов данных;
- система синхронизации по несущей и символьной частоте;
- декодер различных типов данных;
- интерфейс выдачи голосовых, пакетных и управляющих данных.

При пакетной передаче данных начальная фаза сигнала определяется по синхропоследовательности, которую DMR использует в середине таймслота. При передаче голоса синхропоследовательность присутствует только в каждом шестом таймслоте (структура пакета DMR показана на рис. 3). Вследствие движения приемника и передатчика, а также различия частот опорных генераторов фаза сигнала между таймслотами может значительно меняться. Это делает невозможным применение когерентного демодулятора сигнала, поэтому для демодуляции сигналов 4FSK предусмотрен стандартный некогерентный алгоритм работы.

Стандарт кодирования данных DMR использует различные типы кодов: блочные

коды Хемминга, Рида — Соломона, Голея, Quadratic residue, турбокод, решетчатый код со скоростью 3/4.

Для упрощения общей структуры декодера все блочные коды декодируются общим аналогичным способом. При разработке ПО цифровой радиостанции был использован близкий к оптимальному декодер блочных кодов, работающий по следующему принципу. Декодируемое слово жестко квантуется, затем в нем выбирается определенное количество битов, имеющих наименьшую надежность (наименьшие по абсолютному значению). Затем формируется множество слов с фиксированными значениями наиболее надежных битов и всевозможными комбинациями значений наименее надежных битов, из этого множества выбирают слово, имеющее наименьшее Евклидово расстояние до возможного кодового слова. Данное слово является результатом декодирования. Турбодекодер построен стандартным образом: циклически выполняется декодирование по строкам, добавление полученной внешней информации к мягким битам, затем декодирование по столбцам и добавление внешней информации. При декодировании решетчатого кода 3/4 применяется оптимальное декодирование, основанное на алгоритме поиска кодовых слов с наименьшим Евклидовым расстоянием.

## Заключение

Перевод на цифровой формат систем связи РЖД позволит создать единую информационную среду, которая обеспечит новый уровень безопасности и производительности железнодорожных перевозок в России. Модернизация существующих решений сокращает сроки внедрения новых технологических решений и стоимость переоснащения подвижного состава цифровыми средствами радиосвязи. ■

## Литература

1. Министерство связи и массовых коммуникаций Российской Федерации. Приказ от 5 февраля 2010 г. № 26 «Об утверждении правил применения базовых станций и ретрансляторов сетей подвижной радиосвязи стандарта DMR. Часть IV. Правила применения базовых станций и ретрансляторов сетей подвижной радиосвязи стандарта DMR».
2. ГОСТ Р 54959-2012 «Железнодорожная электро-связь. Поездная радиосвязь. Технические требования и методы контроля».
3. Цифровая система поездной радиосвязи и передачи данных в радиочастотном диапазоне 160 МГц. Технические требования. М.: ОАО «РЖД», 2011.
4. [www.milandr.ru/uploads/Products/product\\_295/spec\\_1967VN034.pdf](http://www.milandr.ru/uploads/Products/product_295/spec_1967VN034.pdf)
5. [www.milandr.ru/uploads/Products/product\\_80/1986%D0%92%D0%959X.pdf](http://www.milandr.ru/uploads/Products/product_80/1986%D0%92%D0%959X.pdf)