

# Концептуальная модель сетей и систем связи железнодорожного транспорта



**А. К. Канаев,**  
д-р техн. наук, доцент,  
заведующий кафедрой  
«Электрическая  
связь» Петербургского  
государственного  
университета путей  
сообщения Александра I  
(ПГУПС)



**В. К. Котов,**  
канд. техн. наук,  
доцент ПГУПС



**А. К. Лебединский,**  
канд. техн. наук,  
доцент ПГУПС



**А. С. Ванчиков,**  
канд. техн. наук,  
главный специалист  
«Гипротрансигналсвязь» –  
филиал  
АО «Росжелдорпроект»

Принципиальное отличие телекоммуникационных сетей и систем связи в структуре высокоскоростных магистралей от действующих – способность обеспечить эффективную и надежную работу всей железнодорожной инфраструктуры при движении пассажирских поездов со скоростью до 400 км/ч. Предложена концептуальная модель сетей и систем связи на основе оптической транспортной сети с применением технологии спектрального разделения каналов по длине волны.

В структуре высокоскоростных магистралей (ВСМ) телекоммуникационные системы и сети выполняют функции средств обеспечения инфотелекоммуникационными услугами и системного интегратора в управлении определенными технологическими процессами. Специфика выполнения этих процессов определяется требованиями к показателям оперативности, достоверности и надежности принятия решений на всех уровнях и во всех звеньях сложной транспортной системы. Принципиальное отличие указанных сетей и систем связи от действующих состоит в применении таких проектных, технологических, сетевых, организационных решений, которые способны при соблюдении требований надежности, безопасности, электромагнитной совме-

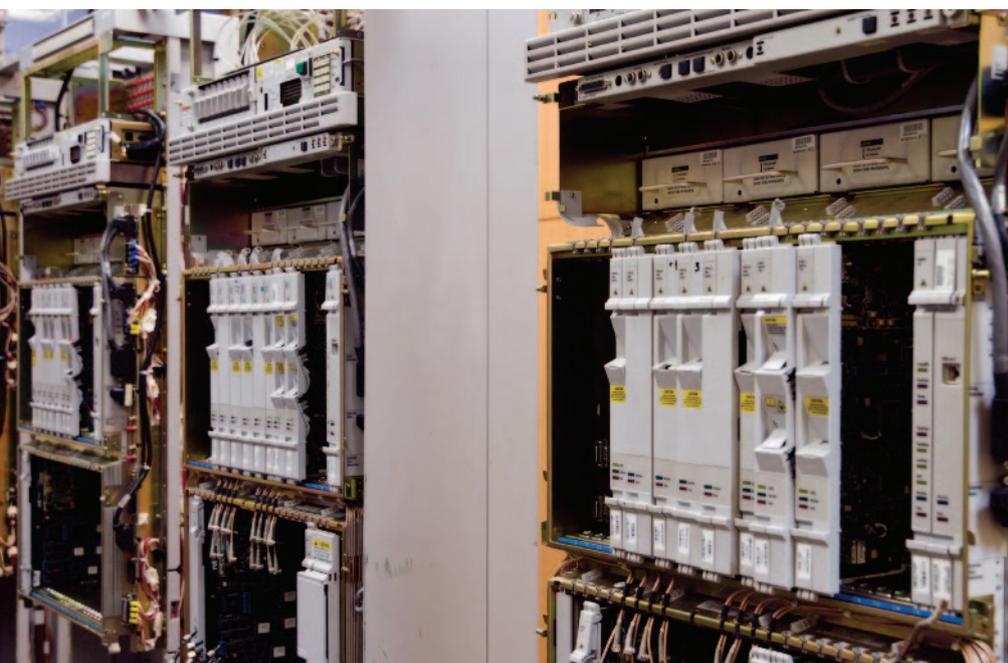
стимости обеспечить максимальный синергетический эффект в работе всех систем ВСМ при движении пассажирских поездов со скоростью до 400 км/ч.

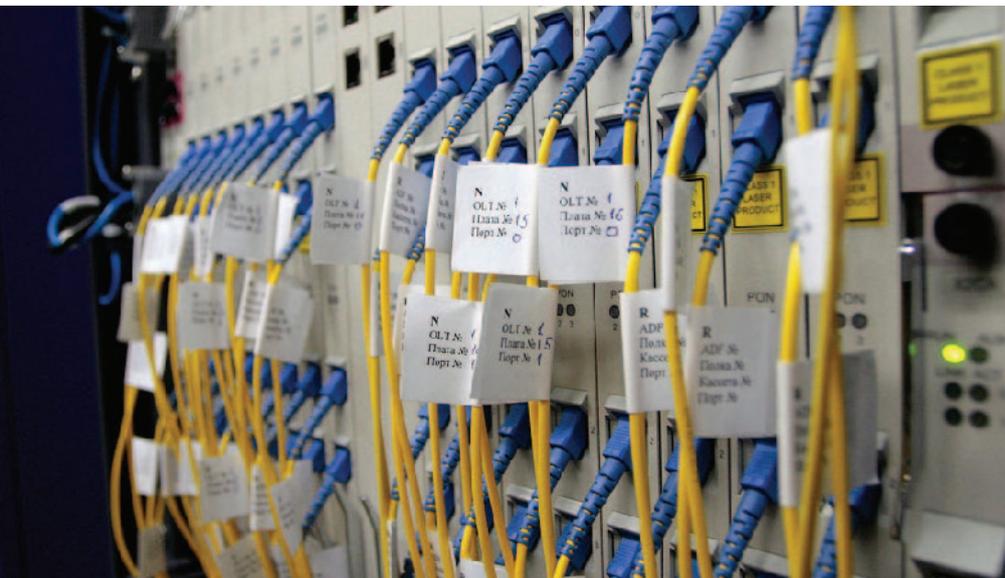
Необходимость рационального учета многих системных факторов при создании ВСМ, в частности железнодорожных телекоммуникаций, обусловила разработку специальных технических условий (СТУ) к проектированию и строительству проводных сетей и систем связи ВСМ.

Отечественный и зарубежный опыт свидетельствует, что подобные документы при чрезмерной формализации или конкретизации разбираемых в них вопросов быстро утрачивают свое значение, поэтому при разработке СТУ специалисты кафедры «Электрическая связь» рассматривались системные и технологические требования, которые можно использовать не только при строительстве новых специализированных ВСМ, но и при модернизации действующих железнодорожных линий. Учитывалось, что горизонт применения требований должен составлять не менее пяти-семи лет.

Таковыми общесистемными требованиями к сетям и системам связи ВСМ являются:

- построение оптической транспортной сети с применением технологии со спектральным разделением по длине волн WDM (Wavelength Division Multiplexing);
- построение оптической мультисервисной сети на базе пакетных технологий IP/MPLS-TP;
- реализация комплексной системы управления всеми сетями;





WWW.KARAGANDA.KA.R.OI.X.KZ

них служебно-технических зданиях в пределах станции, то могут быть задействованы оконечные узлы (ОУ). В качестве среды передачи применяется медный кабель категории не ниже 5е или волоконно-оптический кабель. При использовании действующих местных кабельных линий связи допустимо подключение ОУ с помощью технологий xDSL.

Сеть ПД ОТН обеспечивает передачу данных по выделенным каналам связи информационно-управляющих систем (ИУС), предъявляющих повышенные требования к оперативности, достоверности и надежности. Это системы диспетчерского управления движением поездов; системы контроля и диспетчерского управления объектами электроснабжения и контактной сети; системы контроля над технологическими процессами на объектах связи и вычислительной техники и управления аппаратурой и оборудованием сетей электросвязи. Имеющийся ресурс СПД ОТН может использоваться сторонними подразделениями ВСМ для организации каналов связи различных ИУС, обеспечивающих безопасность и своевременность железнодорожных перевозок.

На основе СПД ОТН создаются интегральная сеть оперативно-технологической (ОТС) и общетехнологической связи (ОбТС), клиентские системы и сети. К ним относятся сеть поездной радиосвязи; цифровая система технологической радиосвязи стандарта GSM-R; централизованная интегрированная система информирования пассажиров, оповещения работающих на железнодорожных путях и парковой станционной связи; система единого времени; система документированной регистрации переговоров; технологического видеонаблюдения аппаратных.

Встроенная система мониторинга и администрирования СПД ОТН включается в Единую систему мониторинга и администрирования (ЕСМА) технологической связи ОАО «РЖД».

СПД ОбТН используется для передачи данных информационных систем тех подразделений и служб ВСМ, которые непосредственно не связаны с безопасностью железнодорожных перевозок. По функциональной и эксплуатационной принадлежности эта сеть находится в зоне ответственности Главного вычислительного центра (филиала ОАО «РЖД») и его региональных подразделений – информационно-вычислительных центров.

- применение автоматических средств контроля и поддержания качества обслуживания клиентов.

Системное рассмотрение указанных требований позволяет сформировать концептуальную модель сетей и систем связи ВСМ, максимально полно удовлетворяющую потребностям скоростных железнодорожных магистралей.

### Принципы формирования структуры

Концептуальная модель сетей и систем связи ВСМ основана на оптической транспортной сети с применением технологии спектрального разделения каналов по длине волны. Сеть имеет двухуровневую архитектуру с организацией пространственного кольца на верхнем уровне и соединением верхнего и нижнего уровней на крупных или узловых железнодорожных станциях. Это необходимо, чтобы обеспечить высокую надежность и возможность гибкого управления трафиком и регулированием уровней, механизмов резервирования спектральных каналов нижнего уровня.

Верхний уровень транспортной сети оснащается оборудованием систем передачи с плотным волновым мультиплексированием DWDM, устанавливаемым на крупных или узловых станциях, при протяженности волоконно-оптической линии между ними до 300 км. В качестве такого оборудования предлагается использовать маршрутизаторы, реализующие технологии MPLS-TP-L2, MPLS-L2,5 IP-L3.

Нижний уровень создается оборудованием систем передачи с грубым волновым мультиплексированием CWDM, размещаемым на малых и средних

станциях, при протяженности волоконно-оптической линии между ними от единиц до десятков километров с учетом особенностей региона. На этом уровне используются коммутаторы, реализующие технологию Carrier Ethernet, SDH, NGSDH.

Сеть передачи данных технологического сегмента создается на основе транспортной сети и предусматривает согласно ведомственным нормативным документам [1] выделение двух сетей передачи данных (СПД):

- 1) оперативно-технологического назначения (ОТН);
- 2) общетехнологического назначения (ОбТН).

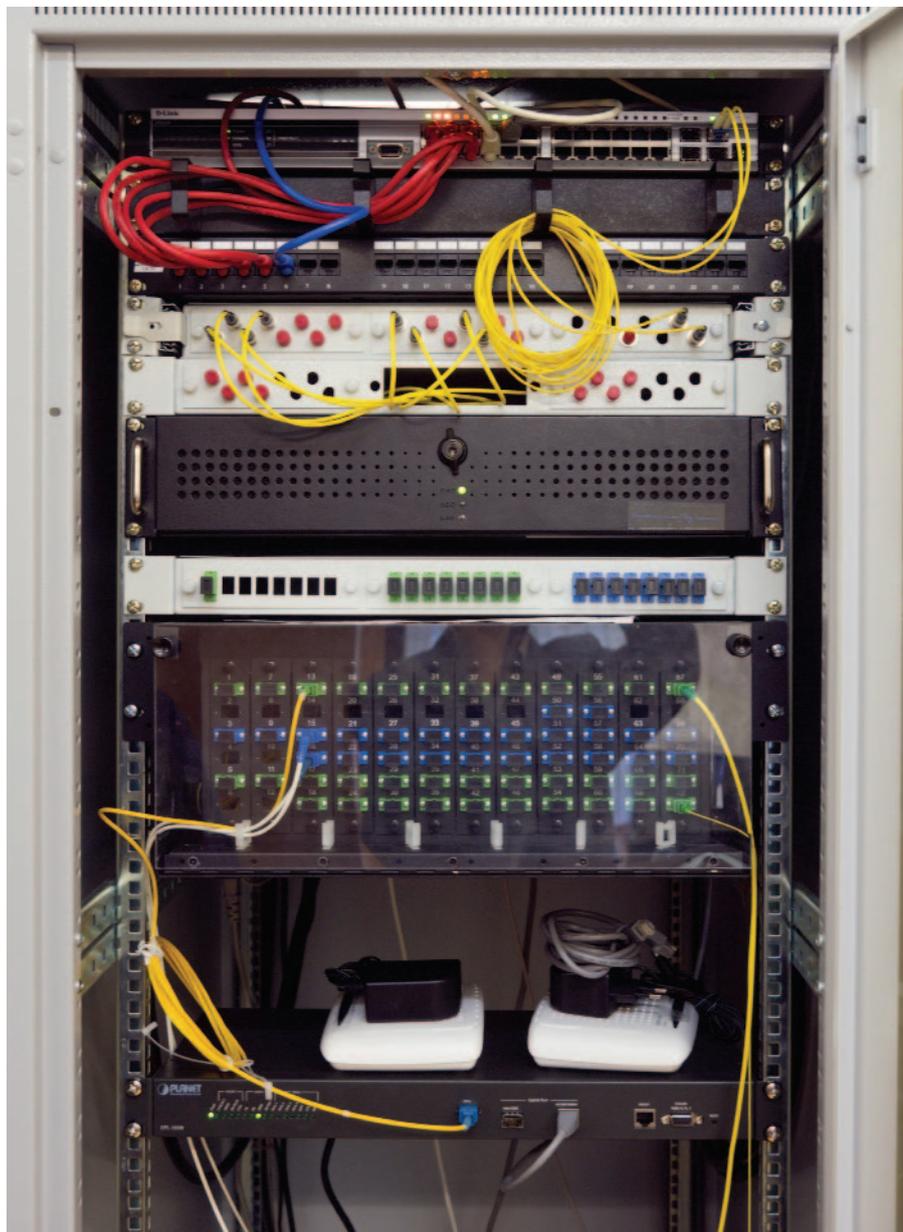
СПД ОТН строится с применением технологий IP и Industrial Ethernet и имеет иерархическую структуру с выделением трех уровней:

- 1) транспортный;
- 2) агрегации;
- 3) доступа.

Транспортный уровень образуют региональные (РУ) и транзитно-периферийные (ТПУ) узлы СПД ОТН, к которым относятся узловые и крупные станции. Для организации транспортного уровня используется оборудование систем с волновым уплотнением DWDM.

Уровень агрегации образуют периферийные узлы (ПУ) – малые и средние станции – с терминированием их трафика на узлах ТПУ. Для организации этого уровня используется оборудование систем с волновым уплотнением CWDM.

Уровень доступа образует оборудование СПД ОТН, размещаемое на РУ, ТПУ, ПУ. Если оборудование клиентских сетей находится в сторон-



Интегральная сеть ОТС и ОбТС с пакетной коммутацией строится в виде мультисервисной сети в соответствии с [1]. Для ее реализации используется перспективная технология IP/MPLS-TP. СПД ОТН выполняет функции транспортной многопротокольной сети, обеспечивающей пересылку речевых пакетов и пакетов сигнализации между точками включения оборудования подсистем ОТС и ОбТС.

Для подсистемы ОТС транспортная сеть обеспечивает более высокие требования к надежности связи, пропускной способности, качеству передачи пакетов, информационной безопасности и к обеспечению приоритетности при пересылке пакетов. В зависимости от возможностей транспортной сети для подсистем ОТС и ОбТС допускается использование единых требований к надежности связи, пропускной способности, качеству передачи пакетов,

информационной безопасности, причём в основе должны быть требования к подсистеме ОТС. В этом случае для подсистемы ОТС должна сохраниться приоритетность при пересылке пакетов.

Сеть ОТС организуется без фиксированных соединений для упрощения ее конфигурирования и устранения многоплановых переключений при любом изменении конфигурации.

Интегральная сеть ОТС и ОбТС строится с применением централизованной конференц-связи, используемой в подсистеме ОТС для диспетчерских видов связи и связи совещаний. Услуга конференц-связи может предоставляться и абонентам ОбТС. В сети устанавливаются следующие соединения:

- в подсистеме ОТС: индивидуальные (с одним абонентом), групповые (с группой абонентов диспетчерского

круга), циркулярные (со всеми абонентами диспетчерского круга);

- в подсистеме ОбТС: индивидуальные или со множеством абонентов в режиме конференц-связи.

Организация интегральной сети ОТС и ОбТС существенно зависит от состава абонентов технологической связи и абонентской емкости станций железной дороги, поэтому для станций разной классности определен обязательный состав оборудования интегральной сети ОТС и ОбТС.

На ВСМ такие виды связи, как переронная (ПГС) и аварийно-восстановительная (АВС), организуются с помощью систем беспроводной связи стандарта GSM-R или TETRA. Обслуживание вызовов для ПГС и АВС обеспечивается с абсолютным приоритетом (в отсутствие свободных каналов связи допускается прерывание соединений для вызовов с низким приоритетом). Для ПГС предусмотрено ведение одновременно не менее двух радиотелефонных переговоров работниками, находящимися на перегонах. При организации аварийно-восстановительных работ также допускается использовать сети операторов подвижной связи стандартов GSM, TETRA и других. Поездная межстанционная связь организуется с помощью интегральной сети ОТС и ОбТС. Соединения между абонентами устанавливаются с абсолютным приоритетом и фиксацией принятого вызова. Парковая связь организуется с помощью станционных систем беспроводной связи.

### Обеспечение временной синхронизации

В сложной транспортной системе ОАО «РЖД», особенно на ВСМ, большое значение приобретает синхронизация всех технологических процессов. С этой целью создается система единого времени (СЕВ), которая обеспечивает прием, хранение, распространение и выдачу потребителям сигналов времени с точностью, соответствующей шкале координатного времени UTC (SU) Государственного первичного эталона единиц [2].

Это иерархическая многоуровневая взаимосвязанная система. Исходный, нулевой уровень образует группировка навигационных космических аппаратов ГЛОНАСС [3]. Первый уровень создается на основе первичного сервера времени, оборудованного приемниками сигналов ГЛОНАСС. Он отвечает за формирование частотно-временных сигналов с ис-

пользованием различных интерфейсов и протоколов, количество и типы которых определяются на этапе проектирования сети и систем связи ВСМ [2, 4]. Для резервирования его функций предусмотрен резервный первичный сервер времени. Надежность и безопасность работы СЕВ обеспечиваются территориальным разнесением серверов на сети связи ВСМ. Если количество потребителей сигналов точного времени превышает 10 000, можно установить один или несколько вторичных серверов времени, образующих следующий уровень иерархии. Вторичный сервер времени синхронизируется сигналами первичного сервера с применением соответствующего способа и протокола синхронизации [5]. При этом системы точного времени подключаются к любому ближайшему к ним серверу, а выбор протокола временной синхронизации определяется ее необходимой точностью [5, 6].

По принципу построения, функциональному назначению и по одному из используемых типов сигналов (2,048 МГц/2,048 Мбит/с) СЕВ соответствует сети тактовой сетевой синхронизации (ТСС). Сеть ТСС предназначена для установления и поддержания определенного значения тактовой частоты цифровых сигналов в цифровых сетях связи ВСМ, которые служат для цифровой коммутации, транзита и синхронного объединения цифровых потоков информации. Структура сети представляет собой территориально распределенный комплекс технических средств, включающий источники сигналов синхронизации; элементы восстановления, поддержания и распределения сигналов синхронизации; системы передачи и линии связи, посредством которых обеспечивается доставка сигналов синхронизации до элементов сетей связи; систему управления сетью ТСС.

Для передачи сигналов синхронизации в сети ТСС традиционно используются системы передачи SDH, которые нерационально применять в сетях с пакетной коммутацией. Альтернативные варианты доставки сигналов синхронизации в сетях с пакетными технологиями связаны с использованием технических возможностей СЕВ и оборудования транспортной сети связи. Так, при использовании оборудования, реализующего канальный уровень на основе технологии Ethernet, синхронизация организуется по технологии Synchronous Ethernet [7]. В этом случае оборудование верхнего и нижнего уровня транспорт-

ной сети, реализующее канальный уровень OSI на основе технологии Carrier Ethernet, оснащается платами синхронизации.

Оборудование верхнего уровня оснащается двумя активными платами (основной и резервной). Они обеспечивают функции контроля сигнала синхронизации, переключения на другой вход синхронизации, запоминания частоты и удержания частоты; фильтрации высокочастотных дрожаний; синтеза сетки частот. Оборудование нижнего уровня оснащается одной активной платой синхронизации, ее синтезатор частот формирует различные номиналы частот, необходимые коммутационному оборудованию: 8 кГц и 2,048 МГц.

### Вопросы надежности

Мониторинг и управление оборудованием телекоммуникационных систем и транспортной сети осуществляются системой мониторинга и управления на двух уровнях:

- отдельных цифровых транспортных систем (отдельных видов оборудования/аппаратуры);
- совокупности цифровых транспортных систем, дающем возможность осуществлять координированный мониторинг и сетевое управление.

Каждый уровень включается в Единую систему мониторинга и администрирования технологической связи ОАО «РЖД».

Электропитание оборудования систем и сетей связи ВСМ обеспечивается от источников бесперебойного питания и электропитающих установок постоянного тока с резервированием выпрямительных модулей по схеме N+1. Установки оборудуются аккумуляторными батареями, обеспечивающими не менее восьми часов автономной работы устройств связи в случае пропадания электроснабжения по внешним фидерам. Предусматривается возможность использования возимых дизельных электростанций, которые можно доставить и запустить в работу не позже чем через восемь часов.

### Задачи на перспективу

Представленная концептуальная модель охватывает элементы предметной области, необходимые для первого этапа решения задач проектирования сетей и систем связи ВСМ. На дальнейших этапах должны быть разработаны подходы к решению следующих наиболее важных задач:

- разработке концептуальных положений кибербезопасности телекоммуникационных сетей связи ВСМ ОАО «РЖД» и методики оценки их радиоэлектронной защищенности;
- развитию архитектуры ЕСМА средствами интеллектуальной поддержки принятия решений;
- разработке требований к оборудованию железнодорожной электросвязи по комплексу средств встроенной диагностики и управления, базам данных и интерфейсам взаимодействия с ЕСМА;
- исследованию и нормированию показателей качества предоставления услуг (QoS) в интегральной технологической сети связи ВСМ;
- разработке стратегий технического обслуживания сетей связи ВСМ для различных внешних условий;
- системному проекту по построению единой системы точного времени и синхронизации для нужд информационно-управляющих систем ВСМ, телекоммуникационных сетей и метрологических служб;
- разработке фрагмента централизованной интегрированной системы информирования пассажиров, оповещения работающих на железнодорожных путях на основе оконечных устройств оповещения, работающих на основе протокола SIP.

### Литература

1. Концепция развития первичной сети связи ОАО «РЖД» до 2015 года. М.: ЦСС, 2013.
2. Система единого времени ОАО «Российские железные дороги»: техн. требования: утв. ОАО «РЖД» 17.07.2006.
3. Об использовании отечественной глобальной спутниковой радионавигационной системы ГЛОНАСС на сетях связи Российской Федерации: приказ № 44 от 15.03.1999. Госкомсвязи и информатизации РФ.
4. Об исчислении времени: ФЗ РФ; принят Госдумой 3.06.2011. № 107-ФЗ.
5. ITU-T.8271. Time and phase synchronization aspects of packet networks.
6. IEEE 1588v2 IEEE Standard for a Precision Clock Synchronization Protocol for Networked Measurement and Control Systems.
7. ITU-T G.8262. Timing characteristics of a synchronous Ethernet equipment slave clock.