

3. **РЖД** отработывают технологии по формированию «твёрдых ниток» графика для грузовых поездов / В. Колупаев // Транспортный портал [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.trans-port.com.ua/index.php?newsid=17077> (Дата обращения 12.01.13).

4. **К твердым «ниткам»** / В. Гапанович // Сайт газеты «Гудок» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.gudok.ru/transport/comment.php?ID=401943> (Дата обращения 12.01.13).

5. **Об организации** движения поездов по графику на станциях стыкования родов тока электрифицированных линий и припортовых станциях / Г.М. Грошев, К.А. Ванелик, Н.В. Шукалович // Интеллектуальные системы на транспорте: материалы I Международной научно-практической конференции «ИнтеллектТранс-2011». – СПб. : Петербургский гос. ун-т путей сообщения, 2011. – С. 205–212.

УДК 621.39/621.316.5

**К. А. Ведерников, А. В. Ведерникова, Д. В. Гайков, В. В. Кренев**

Петербургский государственный университет путей сообщения

## **СТЕНД ПЕРСПЕКТИВНОЙ СЕТИ СВЯЗИ ДЛЯ ТЕСТИРОВАНИЯ ОБОРУДОВАНИЯ И ПЕРЕПОДГОТОВКИ ПЕРСОНАЛА ОАО «РЖД» В УСЛОВИЯХ МОДЕРНИЗАЦИИ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫХ СЕТЕЙ**

Внедрение новой аппаратуры нежелательно сразу на действующей сети, поскольку могут возникнуть различные проблемы, такие как несовместимость оборудования, увеличение коэффициента ошибок (*BER*), фазовые дрожания (джиттер) и др. Поэтому необходима опытная зона или стенд со всеми видами действующего оборудования для отработки возможных схем и режимов работы, связанных с вводом в эксплуатацию новой аппаратуры.

стенд перспективной сети связи, мультиплексоры уровня *STM-16*, технология *CWDM*, функциональные тесты, стрессовое тестирование, логическое тестирование.

### **Введение**

С каждым годом потребности в передаче информации на телекоммуникационной сети ОАО «РЖД» существенно возрастают. Увеличивается количество автоматизированных систем управления, которые диктуют дополнительные требования к существующим телекоммуникационным сетям. В результате роста трафика в определённые моменты наступает исчерпание пропускной способности сетей. Существующая сеть уже не может обеспечить необходимую пропускную способность, а стандартные системы, использующие два волокна для передачи информации, становятся малоэффективными в использовании. Возникает необходимость модернизации сети связи. Для увеличения

пропускной способности необходимо либо выделять дополнительные оптические волокна, либо устанавливать более высокоскоростное оборудование. Помимо высокой пропускной способности необходимо обеспечить масштабируемость сети, чтобы была возможность наращивать пропускную способность без коренной переработки конфигурации сети.

Прежде чем начинать широкомасштабную модернизацию на самой технологической сети, необходимо построить пилотный участок сети в виде стенда в лаборатории, на котором можно проводить различные испытания и отработку действий обслуживающего персонала при возникновении нештатных ситуаций.

## 1 Цель создания стенда перспективной сети связи

Внедрение новой аппаратуры нежелательно на уже эксплуатируемой сети, поскольку могут возникнуть различные проблемы, такие как несовместимость оборудования, увеличение коэффициента ошибок (*BER*), фазовые дрожания (джиттер) и др. [1]. В результате увеличивается количество ресурсов, как финансовых, так и человеческих, расходуемых на доработку сети. Проблемы несовместимости оборудования разных производителей возникают чаще всего по трем причинам:

- 1) неточная (с ошибками) реализация схем сети;
- 2) использование внутрифирменных стандартов;
- 3) совершенствование стандартов – введение дополнительных функций и свойств [2].

Использование внутрифирменных стандартов может привести и к тому, что администраторы сетей в какой-то момент при очередной модернизации сети оказываются перед нелегким выбором – либо устанавливать новое оборудование только от одного производителя, даже если есть более подходящие варианты, либо переконфигурировать все установленное оборудование для работы по стандартному протоколу, чтобы оно стало совместимо с оборудованием других производителей. Каждый из этих вариантов имеет свои недостатки [2]. Поэтому необходим стенд для участка сети связи на основе выпускаемого промышленностью оборудования для отработки возможных проблем, связанных с вводом в эксплуатацию новой аппаратуры. Таким образом, отработка процессов функционирования и взаимодействия аппаратуры будет происходить на базе стенда перспективной сети связи.

## 2 Оборудование стенда

В рамках нашего стенда перспективной сети связи предполагается использовать следующее оборудование.

### 2.1 Мультиплексор Nortel TN-16X

Предназначен для построения магистральных цифровых транспортных сетей на основе принципов синхронной цифровой иерархии – *SDH* уровня *STM-16*. Обеспечивает передачу сигнала со скоростью 2,488 Гбит/с.

Аппаратура применяется в качестве оконечного (терминального) мультиплексора, мультиплексора ввода/вывода, регенератора, кросс-коммутатора.

Набор блоков каналов доступа поддерживает работу с различными потоками, включая 34 Мбит/с, 140 Мбит/с, *STM-1* на симметричном кабеле, *STM-1* и *STM-4* на оптическом волокне.

*TN-16X* обеспечивает полный набор характеристик, включая: кросс-соединения (1 : 1 или 1 : *N*, где *N* = 1–14) и синхронное мультиплексирование (1 + 1), защиту потоков, автоматическую защиту схем коммутации и возможность работы в однокольцевой схеме. *TN-16X* поддерживает промышленный стандарт (*ITU-T G.803*) двунаправленной кольцевой топологии, который обеспечивает лучшие характеристики защищенности сети от сбоев по сравнению с однонаправленной схемой.

Аппаратура обеспечивает следующие основные функции:

- формирование группового цифрового потока *STM-16* со скоростью передачи 2,488 Гбит/с путем мультиплексирования 43 цифровых потоков *E 3* 34 Мбит/с, 16 цифровых потоков *E 4* 140 Мбит/с, 16 цифровых потоков *STM-1* 155 Мбит/с, четырех цифровых потоков *STM-4* 622 Мбит/с;
- передачу и приём группового цифрового потока по одномодовому волоконно-оптическому кабелю;
- коммутацию потоков;
- коммутацию виртуальных контейнеров *VC-4*;
- управление, мониторинг и конфигурацию из единого центра управления [3].

### 2.2 Мультиплексор CMM-155

Мультиплексор CMM-155 предназначен для построения цифровых транспортных

сетей и сетей доступа на основе принципов синхронной цифровой иерархии – СЦИ первого уровня, обеспечивает передачу сигнала со скоростью 155,520 Мбит/с. Аппаратура может включаться в состав систем синхронной цифровой иерархии уровней 4, 16 и выше, имеющих стыки на скорости 155,520 Мбит/с, согласно рекомендациям *G.703*, *G.707*, *G.957* МСЭ-Т.

Аппаратура применяется на магистральных, дорожных (внутризоновых) и отделенческих сетях связи СЦИ, образованных одноמודовыми волоконно-оптическими кабелями, в качестве оконечного мультиплексора, мультиплексора ввода/вывода, регенератора, кроссового коммутатора.

Аппаратура обеспечивает формирование группового цифрового потока *STM-1* со скоростью передачи 155,520 Мбит/с путем мультиплексирования 63 первичных цифровых потоков *E 1*, предоставляя возможность коммутации как потоков, так и виртуальных контейнеров *VC-12*. Управление, мониторинг и конфигурация могут производиться из единого центра управления. Аппаратура позволяет организовывать сети связи следующих топологий: точка – точка; последовательная линейная цепь; кольцо: одно или двунаправленное, двух- или четырехволоконное [4].

### 2.3 Мультиплексор «Морион» ТЛС-31

Мультиплексор ТЛС-31 предназначен для работы в волоконно-оптической сети, использующей третий уровень плезиохронной цифровой иерархии *PDH*. Основным направлением использования мультиплексора является организация технологических сетей связи на дорожном и отделенческом уровне.

Аппаратура обеспечивает следующие функции:

- формирование группового третичного цифрового сигнала со скоростью 34368 кбит/с путем мультиплексирования 16 потоков *E1*;
- формирование группового потока путем мультиплексирования потока *E3* и ОЦК со скоростью 64 кбит/с (до восьми сервисных

каналов и двух каналов телеконтроля и служебной связи);

- передачу и прием группового потока по одномодовому волоконно-оптическому кабелю;
- ввод-вывод до четырех потоков *E1* на промежуточной станции;
- организацию резервного оптического интерфейса в конфигурации (1 + 1);
- телеконтроль за состоянием оборудования оконечных и промежуточных станций [4].

### 2.4 Первичные мультиплексоры ВТК-12 и ОГМ-30Е

Аппаратура ВТК-12 и ОГМ-30Е предназначена для использования в качестве каналообразующего оборудования на сети оперативно-технологической связи ОТС дорожного и отделенческого уровня. Она обеспечивает ввод/вывод сигналов каналов ТЧ и ОЦК потока *E1* с организацией различных типов интерфейсов. Мультиплексоры могут применяться также для организации групповых каналов.

Аппаратура дает возможность организовать большое количество режимов работы, в том числе: транзит и шлейф определенного потока, общий канал, различные комбинации ввода/вывода [4].

### 2.5 Мультиплексор WBM-21

Оборудование оптического мультиплексора *WBM-21* производства *OlenCom Electronics* реализует технологию мультиплексирования с разделением по длине волны – *WDM (Wavelength Division Multiplexing)* и служит для увеличения пропускной способности волоконно-оптических линий передачи: до восьми каналов суммарной емкостью до 20 Гбит/с – по двум оптическим волокнам или до четырех каналов суммарной емкостью до 10 Гбит/с – по одному волокну. *WBM-21* производится как в варианте *CWDM*, так и в варианте *DWDM*.

Оптические концентраторы системы собраны в стандартных 19"-корпусах высотой

1.5U. В них предусмотрена горячая замена оптических *SFP*-модулей, чем обеспечивается масштабируемость и возможность использования крупными операторами.

Высокая надежность эксплуатации обеспечивается резервированием питания с возможностью «горячей замены» отказавшего блока питания. Имеется также возможность питать прибор от сетей постоянного и переменного тока одновременно.

Встроенные в мультиплексор *3R*-транспондеры преобразуют сигнал оптического клиентского интерфейса в одну из длин волн *CWDM*-диапазона для дальнейшей транспортировки до узла назначения [5].

### 3 Конфигурация стенда

На рис. 1 представлена схема существующей сети связи, которая находится в лаборатории «Многоканальная связь» на кафедре «Электрическая связь». Она включает в

себя часть оборудования, использующегося в данный момент на сетях ОАО «РЖД». Это аппаратура первичного мультиплексирования (ВТК-12, ОГМ-30Е), мультиплексоры третичного временного группообразования (ТЛС-31), а также аппаратура уровня *STM*-1 (мультиплексор СММ-155). Вся аппаратура распределена по трём станциям. Первичные мультиплексоры обеспечивают объединение каналов ТЧ в потоки *E1*. Мультиплексоры ТЛС-31 *PDH*, организованные по линейной топологии, обеспечивают объединение потоков *E1* в поток *E3* и его передачу через линейный оптический интерфейс ( $\lambda = 1,31$  мкм). Мультиплексоры СММ-155 образуют плоское кольцо уровня *STM*-1 *SDH*, обеспечивают объединение потоков *E1* в поток *STM*-1 и его приём и передачу через линейный оптический интерфейс ( $\lambda = 1,31$  мкм). На нашем стенде в составе аппаратуры СММ-155 используются блоки СММ-11, которые позволяют осуществлять ввод/вывод до 21 первичных цифровых потока *E1*.

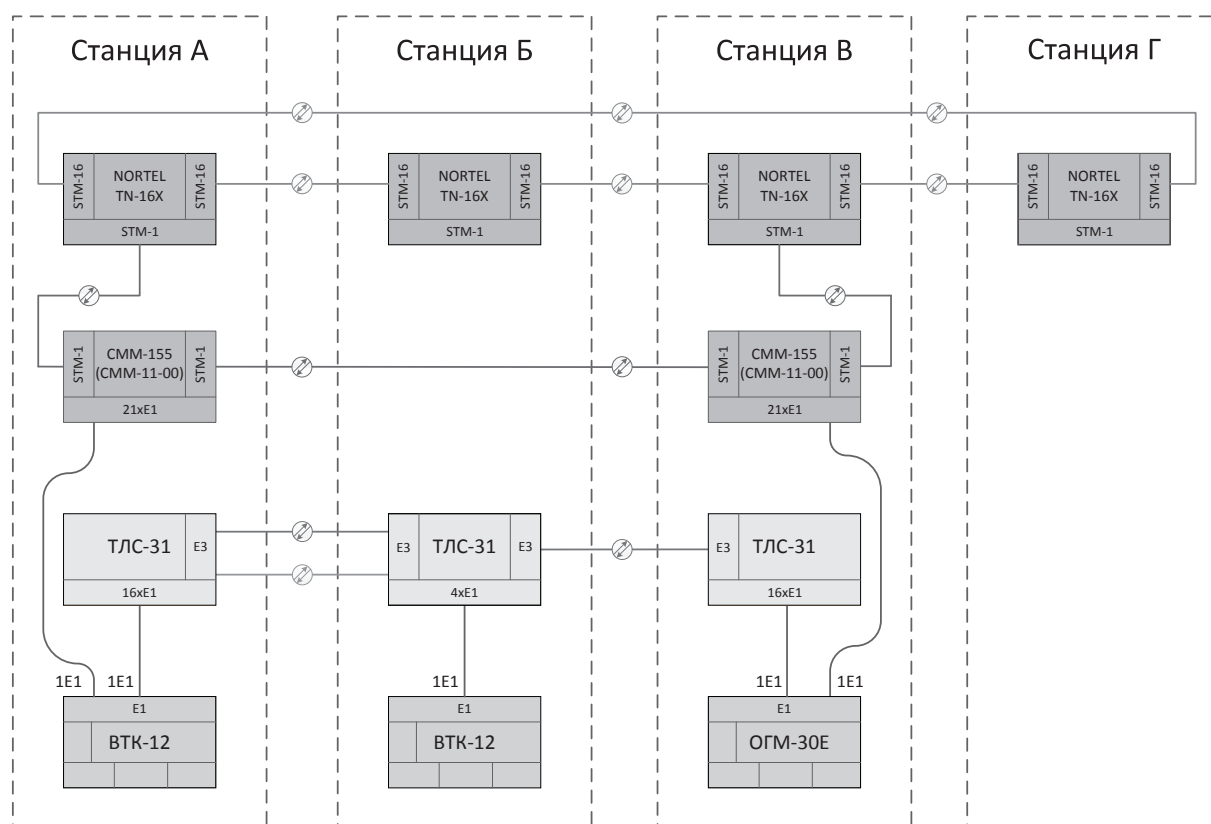


Рис. 1. Конфигурация стенда с применением аппаратуры *Nortel TN-16X*

К существующей сети добавлена аппаратура *Nortel TN-16X*. Эта аппаратура, соединённая с помощью линейных оптических интерфейсов и организованная по топологии «Двунаправленное кольцо», образует кольцо уровня *STM-16*. Данная конфигурация позволяет включить мультиплексоры уровня *STM-1* в мультиплексоры уровня *STM-16*. Таким образом, кольцо уровня *STM-1* теперь проходит через кольцо уровня *STM-16*.

Чтобы обеспечить масштабируемость сети, необходимо включить в сеть мультиплексоры *WDM-21*, которые позволяют производить уплотнение оптических каналов, а благодаря установке специальных *SFP*-модулей – осуществить передачу сигналов *Gigabit Ethernet SX*, *Gigabit Ethernet LX*, *Fast Ethernet*.

На рис. 2 показана окончательная конфигурация стенда сети связи. В ближайшее время планируется добавить в конфигурацию стенда аппаратуру *СМК-30 «Пульсар»* (на рис. 3 обозначена пунктирными линиями), которая в настоящее время активно внедряется на сетях связи ОАО «РЖД». Это позволит организовать ещё одно кольцо уровня *STM-4*. В качестве мультиплексора *SDH СМК-30* позволяет подключать до пяти портов *STM-1*, два из них могут быть *STM-4*. Поддерживается полный кросс-коннект на уровне *VC-12*. Мультиплексор позволяет выделить до 64 потоков *E1* с электрическим интерфейсом и функцией ретайминга по всем каналам, при этом возможно использование контейнеров *VC-12* для потребностей других систем непосредственно без выведения их наружу в виде электрических *E1*. В мультиплексоре применяются современные оптические трансиверы формата *SFP* – это сменные модули с возможностью установки «на ходу» без отключения питания. Поддерживаются все стандартные стыки от *S1.1* до *L4.2*, дальность связи до 150 км, обеспечивается цифровая диагностика по каждому оптическому интерфейсу, включая реальное измерение мощности приема и передачи. Мультиплексор поддерживает стандартные протоколы резервирования *SNCP*, *MSP*, *MSSP-Ring* [9].

В лаборатории произведён монтаж оптических кроссов, которые позволяют упростить соединение оборудования в единую телекоммуникационную сеть, а также изменять топологию сети и линейные тракты.

#### 4 Функционирование стенда

Для тестирования лабораторного фрагмента сети связи необходимо имитировать работу оборудования в условиях, приближенных к реальной эксплуатации на телекоммуникационной сети ОАО «РЖД». Функционирование стенда, как фрагмента сети, будет проверено по следующей методике.

Предполагается использование прибора *JDSU ANT-5* для генерации и анализа трафика. Это портативный прибор, предназначенный для инсталляции и обслуживания *SDH/PDH*-сетей до уровня *STM-16*. Тестер имеет набор функций тестирования *SDH/PDH*, позволяющий применять прибор на всех стадиях жизненного цикла телекоммуникационных систем. Ключевой функцией *ANT-5* является анализ эксплуатационных характеристик *SDH/PDH*-систем, с ее помощью можно выявить и зарегистрировать все отклонения и неполадки. В процессе обслуживания и корректировки неисправностей системы с помощью *ANT-5* можно имитировать любые отклонения и аварийные состояния, анализируя при этом реакцию системы. Прибор имеет функции трассировки пути и внесения сигнала, возможности полного тестирования заголовков *SDH* и протокольных сигналов [6].

Передатчик прибора подключается на одной из станций либо к мультиплексорам *ТЛС-31* и *СММ-155* (ввод трибутарного потока *E1*), либо к *TN-16X* (ввод трибутарного потока *E3*, *E4*, *STM-1*, *STM-4*). Приёмник прибора подключается на другой станции, на которой требуется выделить тестируемый поток, к соответствующему мультиплексору. Далее с помощью прибора можно произвести различные измерения, которые делятся на три группы [7].

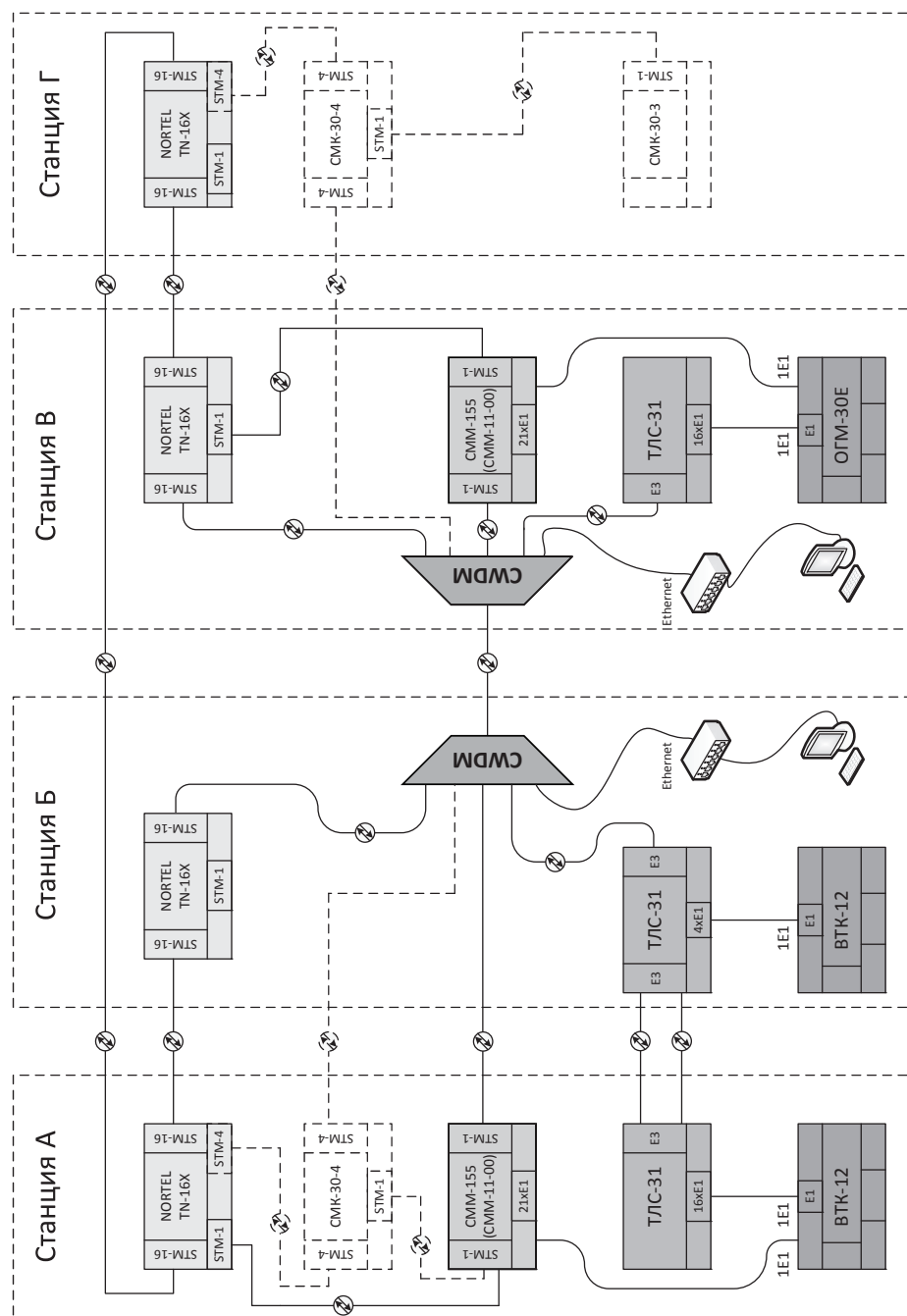
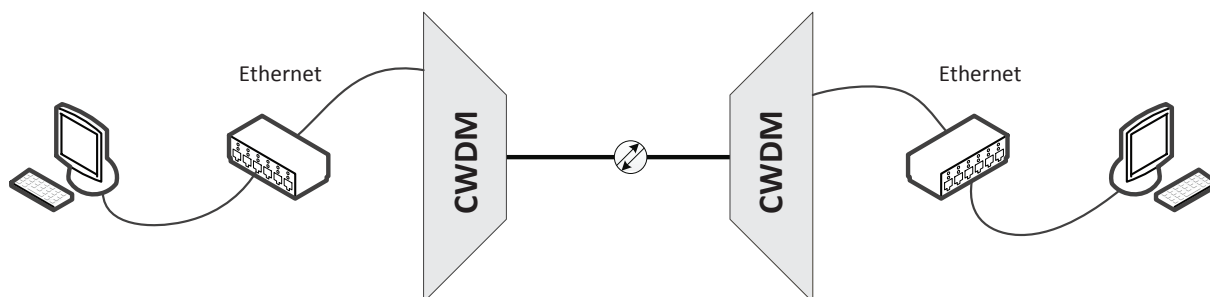


Рис. 2. Конфигурация стенда с применением аппаратуры CWDМ WBM-21

Рис. 3. Схема организации связи с использованием мультиплексора *WBM-21*

#### 4.1 Функциональные тесты

К функциональным тестам относятся измерения, связанные с проверкой функциональности различных частей системы *SDH*, уровней типового тракта, тракта и сети в целом. Обычно эта категория измерений реализуется методами пассивного мониторинга, но в ряде случаев производятся измерения с отключением канала. К этой категории измерений, например, относятся:

- измерения на стыке «пользователь – система передачи»; обычно связаны с анализом процессов загрузки и выгрузки потока *PDH*;
- измерения, связанные с реализацией различных вариантов загрузки потока *PDH*;
- анализ процедур мультиплексирования и функций загрузки в интерфейсах кросс-коннекторов и т. д.

#### 4.2 Стрессовое тестирование

К измерениям стрессового тестирования относятся измерения, связанные с имитацией различных ситуаций в сети *SDH*, в трактах, а также на участках трактов. Сюда же можно отнести измерения, связанные с активным тестированием компонентов сети *SDH*. Все измерения этой группы выполняются с отключением канала и с использованием анализа по схеме «воздействие – отклик». К этой категории измерений, например, относятся:

- измерение параметров устойчивости к джиттеру;
- анализ процессов компенсации рассинхронизации методом смещения указателей;
- имитационные измерения в системе управления;

– тестирование процессов оперативного переключения и т. д.

#### 4.3 Логическое тестирование

К измерениям логического тестирования относятся все измерения, связанные с анализом обмена управляющей информацией в сети *SDH* между устройствами, составными частями системы передачи, а также между системой передачи и системой управления. К этой категории измерений, например, относятся:

- имитация и анализ функций передачи информации об ошибках, сообщений о неисправностях и нарушениях работы;
- анализ корректности работы процедур поиска ошибок и анализ протоколов управления в узлах системы передачи;
- мониторинг производительности системы передачи [7].

Сначала тестируется мультиплексорное оборудование. Основным элементом сети *SDH* является мультиплексор ввода/вывода. Он выполняет следующие основные функции:

- создание виртуальных контейнеров, включая помещение в них полезной нагрузки *PDH* (*mapping*) и заголовка;
- выгрузка сигнала *PDH* из виртуального контейнера, включая удаление из него заголовка и компенсацию образовавшегося джиттера;
- мультиплексирование/демультиплексирование потоков *STM-M* в *STM-N* ( $N > M$ ) – компенсация возможной рассинхронизации приходящих потоков за счет использования указателей.

Эти функции определяют основные группы тестов мультиплексоров *SDH*.

Тестирование процессов создания виртуальных контейнеров необходимо для определения ряда параметров работы мультиплексора (джиттера и битовой ошибки – *BER (Bit Error Rate)*). Искусственно введя джиттер в тракт передачи, можно определить степень его компенсации. Мультиплексор должен компенсировать нестабильность частоты передаваемого сигнала (допускаемой нормами *PDH* на нестабильность частоты). Искусственное введение нестабильности частоты передаваемого сигнала позволяет определить ее влияние на *BER* и джиттер.

Особенно важно тестирование процессов восстановления нагрузки *PDH*, так как именно оно порождает джиттер, существенно влияющий на качество цифровых каналов связи (в частности, на величину *BER*). В простейших тестах анализатор измеряет полученные на выходе мультиплексора джиттер и *BER*. Внося в канал *SDH* намеренную ошибку, анализируют реакцию систем контроля *SDH* и индикации мультиплексора на полученную ошибку передачи. Важным тестом является имитация в сети процессов рассинхронизации. Для этого в тракт вносят дополнительные указатели (*pointers*) и измеряют джиттер и *BER* на выходе мультиплексора. С помощью этого теста определяют эффективность механизма компенсации джиттера при смещении указателей (*pointers movement*).

После испытания мультиплексоров, как правило, производится тестирование сети *SDH* в целом. Оно включает в себя:

- мониторинг и сбор статистики на участках сети и сопоставление этой статистики со статистикой системы контроля;
- исследование различных механизмов работы сети, в первую очередь механизмов компенсации джиттера при прохождении нескольких мультиплексоров.

Мониторинг сети осуществляется комплексно с мониторингом системы *PDH* и состоит из сбора основных параметров цифровой передачи, которые рекомендуются стандартами МСЭ-Т *G.821* и *M.2100*. При этом на заданном участке джиттер можно измерить

дополнительно. В режиме мониторинга с помощью оптических разветвителей анализатор подключается к сети *SDH* и не оказывает влияния на работу сети [8].

Исследование различных механизмов работы сети – процесс сложный и определяется спецификой самой сети. Обычно он включает описанные выше тесты и их комбинации, применяемые к участкам сети с несколькими мультиплексорами.

Отдельному тестированию подлежит оборудование оптического мультиплексора с разделением по длине волны технологии *CWDM* типа *WBM-21*, предназначенное для реализации одноволоконной четырехканальной магистрали связи со скоростью передачи по каждому информационному каналу до 2,5 Гбит/с.

Упрощенная схема организации связи с использованием станционного (серверного) мультиплексора *WBM-21* и клиентского мультиплексора *WBM-21*, работающих вместе (попарно), приведена на рис. 3.

Для полноценной работы программы необходимо как минимум два компьютера с предустановленным программным обеспечением и сетевыми интерфейсами *Fast Ethernet* или *Gigabit Ethernet*. Работа выполняется в программном комплексе *JPerf 2.0*, который представляет собой клиент-серверную систему. Один из компьютеров является сервером, а другой – клиентским оборудованием. Сервер и клиентское оборудование подключаются с помощью кабелей *UTP cat.5e* с разъемами *RJ-45* и *SFP*-модулей.

## 5 Механизмы защиты

Технологическая сеть связи должна иметь высокий коэффициент готовности. По мере увеличения сложности системы связи вероятность выхода из строя какого-либо из ее компонентов увеличивается. Если отсутствует резервирование компонентов системы, то соответственно уменьшается коэффициент готовности системы. Современные системы связи используют большое количество элементов, что делает совершенно необходимым использование резервирования и об-

ходных маршрутов для повышения коэффициента готовности системы связи в целом.

Для обеспечения заданного коэффициента готовности реализованы следующие механизмы защиты.

### 5.1 Аппаратурное резервирование

Аппаратурное защитное переключение *EPS (Equipment Protection Switching)* является одной из мер, направленных на повышение надежности работы сети СЦИ. В этом случае резервируются рабочие блоки оборудования (например, коммутационные матрицы, блоки для ввода-вывода цифровых потоков, линейные оптические агрегаты). Резервирование может быть организовано по принципу  $1 + 1$  (на один блок рабочий предусматривается один резервный) или по принципу  $1 : N$  (один резервный блок закрепляется за  $N$  рабочими блоками; в зависимости от назначения блока  $N = 1, \dots, 16$ ) [1].

### 5.2 Сетевой защитный механизм MSP

Сетевой защитный механизм резервирования мультиплексорных секций *MSP (Multiplexer Section Protection)* соответствует Рекомендации МСЭ-Т G.841. Он может быть использован на сети или подсети топологии «точка – точка». Для его реализации необходимо наличие резервного линейного тракта. При этом сигнал *STM-N* одновременно передается как по основному, так и по резервному тракту. При нормальных условиях работы на приеме используется сигнал, передаваемый по основному тракту, причем производится постоянный контроль качества передачи сигналов посредством алгоритма *BIP (Bit Interleaved Parity)*. В случае значительного ухудшения качества сигнала основного тракта на приеме выполняется аварийное переключение *APS (Automatic Protection Switching)* на резервный линейный тракт [1].

### 5.3 Сетевой защитный механизм SNCP

Сетевой защитный механизм резервирования соединений подсети *SNCP (SubNet-*

*work Connection Protection)* реализуется в кольцевых сетях СЦИ. Сигнал одновременно передается по основному и резервному соединению подсети *SNC*. Находящийся на приемной стороне переключатель в нормальных условиях ориентирован на основное соединение подсети *SNC*. В случае повреждения основного *SNC* происходит аварийное защитное переключение *APS*. Приемный мультиплексор ввода-вывода *ADM* начинает принимать сигнал, передаваемый по резервному соединению *SNC* [1].

### 5.4 Сетевой защитный механизм MS-SPRING

Принцип действия данного механизма заключается в следующем. Предположим, вся пропускная способность кольца *SDH* на каждом участке составляет  $N$  административных блоков *AU-4*. Тогда  $N/2$  *AU-4* назначаются рабочими, а оставшиеся  $N/2$  *AU-4* – резервными. При этом в случае аварии (в соответствии с рекомендацией МСЭ-Т G.841) будут защищены только те плезиохронные цифровые потоки, которые в нормальном режиме передаются по рабочим *AU-4*. В данном аварийном защитном переключении *APS* участвуют все мультиплексоры, входящие в кольцо. Отметим, что применительно к *MS-SPRING* вводится понятия высокоприоритетного и низкоприоритетного трафика [1].

## 6 Обоснование топологической и потоковой структуры ТКС

При построении транспортной сети связи для обеспечения выполнения требований по надежности функционирования необходимо определить базовую структуру сети соответствующей связности с учетом реализации сети с минимальными затратами.

На рис. 4 представлен общий вид алгоритма обоснования топологической и потоковой структур телекоммуникационной сети (ТКС) [10]. Каждый шаг алгоритма подразумевает решение частной задачи в контексте решения общей задачи нахождения маршрутов

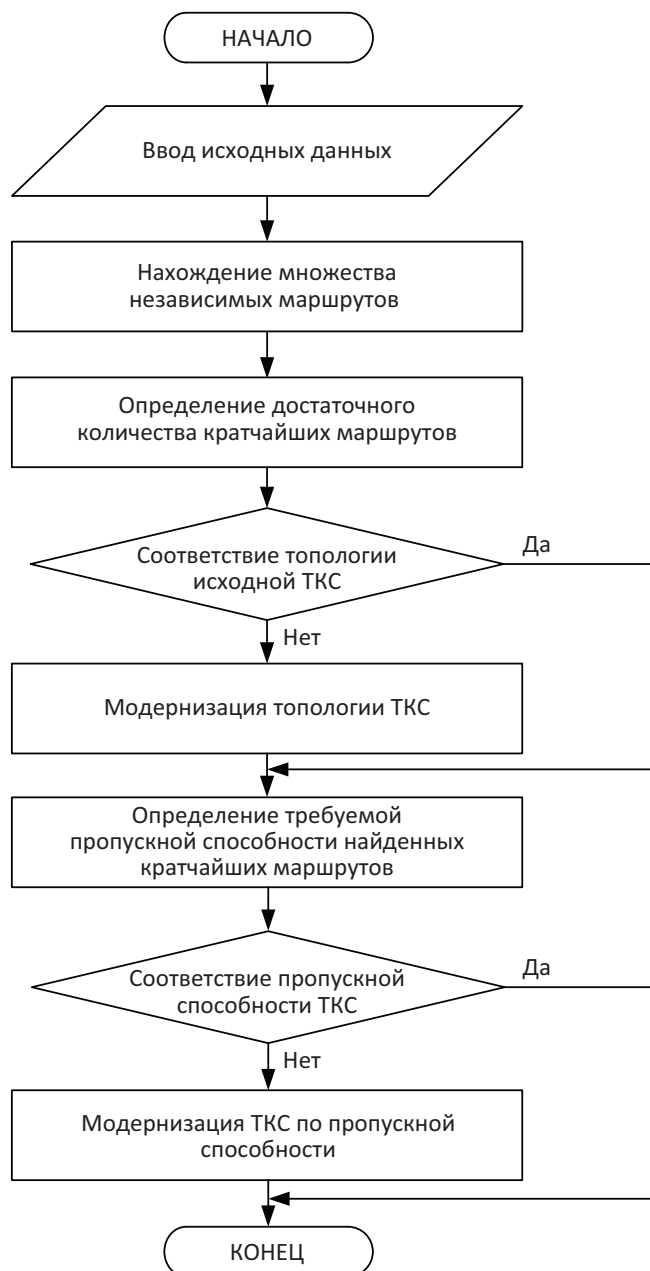


Рис. 4. Алгоритм определения топологической и потоковой структур ТКС

передачи, распределения потоков и расчета пропускной способности ребер.

Высокие требования к качеству каналов связи предъявляют службы связи, основанные на сжатии информации: видео со сжатием, аудио со сжатием, данные со сжатием. Таким образом, целесообразно предварительно выбирать такие пути составления каналов, которые удовлетворяли бы требованиям по показателям качества образуемых каналов передачи:

$$Q^l \geq Q_{\max}^l, \quad l = \overline{1, L},$$

где  $L$  – количество показателей качества.

Пути прохождения потока сообщений между множеством КПУ  $Z = \{z_m\}; m = \overline{1, M}$  представим множеством путей  $V = \{v_{mr}\}; r = \overline{1, R}$ , где  $r$  – количество допустимых путей между  $m$  КПУ.

Отличительной чертой решаемой задачи является нахождение множества допустимых путей, которые независимы друг от друга,

т. е. не имеют общих ребер и вершин, кроме корреспондирующих пар узлов (КПУ).

Подход к решению задачи нахождения маршрутов передачи и распределения потоков сообщений состоит в том, чтобы на начальном этапе найти независимые допустимые пути установления соединения по заданным критериям качества каналов передачи и надежности. Общее решение данной задачи представлено в [11].

Отличительной особенностью представленного алгоритма является учет параметров качества каналов связи. Так, для коммутации каналов основными параметрами являются коэффициент ошибок  $K_{\text{ош}}$  (*Bit Error Ratio – BER*), дрожание фазы цифрового сигнала  $J$  (*Jitter*), проскальзывание цифрового канала  $P_{\lambda}$ , допустимое отклонение скорости передачи  $\sigma_v$ ; время прохождения сигнала  $\tau_n$ .

Для коммутации пакетов основными параметрами являются количество потерянных пакетов (*IPLR*), вероятность приема ошибочных пакетов (*IPER*), среднее время задержки пакета (*IPDT*), вариация задержки пакета (*IPDV*).

## Заключение

Разработанный авторами стенд позволяет перед началом широкомасштабной модернизации сети связи железнодорожного транспорта проверить все принципы работы, корректность работы новой аппаратуры с внедряемым оборудованием, совместимость с различными интерфейсами и протоколами, а также проверить сеть с помощью различных тестов. В итоге данный стенд позволит снизить расходы, связанные со строительством и введением в эксплуатацию перспективной сети связи, а также обеспечить поддержание высокого уровня надёжности функционирования сети за счет отсутствия ошибок в эксплуатации подготовленного персонала. На базе стенда возможно проведение занятий в рамках курсов повышения квалификации обслуживающего персонала. Для аспирантов и молодых ученых появится возможность по-

становки опытов, экспериментов и изысканий на участках магистрального и отделенческого уровней, аналогичных структуре сети связи ОАО «РЖД». Для студентов на базе макета будут разработаны новые лабораторные работы и деловые игры.

## Библиографический список

1. **Многоканальная связь** на железнодорожном транспорте / В. В. Шмытинский, В. П. Глушко, Н. А. Казанский. – М. : Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте, 2008. – С. 348–356.
2. **Транспортная подсистема** неоднородных сетей / Виктор и Наталья Олифер [Электронный ресурс]. – Режим доступа: citforum.ru.
3. **Техническое описание** и инструкция по эксплуатации аппаратуры TN-16X «Nortel networks», 2003.
4. **Техническое описание** и инструкция по эксплуатации аппаратуры СММ-155, ТЛС-31, ВТК-12, ОГМ-30Е «Морион», 2001.
5. **Техническое описание** и инструкция по эксплуатации системы WBM-21 «OlenCom Electronics», 2010.
6. **Техническое описание** и инструкция по эксплуатации тестера JDSU ANT-5.
7. **Методы измерений** в SDH сетях / И. Г. Бакланов. – М., 1999. – С. 89–111.
8. **О технологиях измерений** на сетях SDH / И. Г. Бакланов // Сети и системы связи. – 1997. – № 5. – С. 56–124.
9. **Техническое описание** и инструкция по эксплуатации аппаратуры СМК-30 «Пульсар», 2010.
10. **Комплексная методика** формирования транспортной сети связи ОАО «РЖД» / А. С. Ванчиков // Сборник материалов 64-й научно-технической конференции, посвящённой Дню радио. – СПб. : Издательство Санкт-Петербургского гос. электротехнического ун-та (ЛЭТИ), 2009. – С. 125–126.
11. **Методология** проектных исследований и управления качеством сложных технических систем электросвязи / В. И. Курносков, А. М. Лихачев. – СПб. : ТИРЕКС, 1998. – 495 с.