

# Моделирование условий функционирования аппаратуры синхронной цифровой иерархии по каналам со спектральным разделением

В. П. Глушко, В. В. Шмытинский

*Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I*

E-mail: valentin.glushko@mail.ru, victor.v.s@mail.ru

**Аннотация.** Описаны возможности моделирования условий работы оборудования синхронной цифровой иерархии, с использованием аппаратуры со спектральным разделением каналов, выполненного с использованием специального стенда.

**Ключевые слова:** сеть электросвязи железнодорожного транспорта; DWDM-оборудования систем передачи; моделирование условий эксплуатации оборудования; качество телекоммуникационных каналов

На магистральной сети связи железнодорожного транспорта продолжается модернизация первичной сети связи, позволяющая существенно повысить пропускную способность и функциональность сети. Это достигается прежде всего за счет внедрения аппаратуры спектрального разделения каналов (Wavelength Division Multiplexing, WDM) как на магистральном, так и на региональном уровнях [1]. При этом цифровые тракты систем передачи синхронной иерархии (Synchronous Digital Hierarchy, SDH), работавшие, как правило, по отдельным волокнам оптического кабеля, зачастую переносятся на оптические каналы систем передачи WDM.

Кроме того, в составе оборудования современных транспортных платформ, использующих технологии передачи с WDM, практически всегда присутствуют блоки, формирующие тракты SDH, так как на сетях связи, особенно на уровне доступа, всё еще широко применяются системы передачи с временным разделением каналов (Time Division Multiplexing, TDM) со стандартными интерфейсами первичных цифровых трактов E1. Совместная работа таких систем в едином комплексе, также включающем аппаратуру построенную с использованием пакетной передачи сигналов, существенно расширяет функциональный потенциал первичных сетей связи, однако требует учета особенностей взаимодействия оборудования, построенного на различных принципах передачи сигналов, как при проектировании сетей, так и в процессе их эксплуатации. Важным, является также включение этих вопросов в процесс обучения специалистов не только в теоретическом, но и в практическом плане.

Учитывая изложенное, кафедрой «Электрическая связь» Петербургского государственного университета путей сообщения Императора Александра I было приобретено оборудование технологии WDM на базе которого сформирован стенд, позволяющей изучать процессы, происходящие при формировании, и передаче цифровых сигналов в оптических тактах. В настоящее

время лидером отечественной промышленности по выпуску и внедрению оборудования WDM на сетях связи страны является компанией «Т8» [2], поэтому базой для организации стенда выбрана системы передачи «Волга», работающая на принципах плотного спектрального разделения каналов DWDM (Dense WDM).

Приобретение этой аппаратуры позволило в условиях учебной лаборатории, скомпоновать полный комплекс аппаратуры, функционирующей на модернизированных первичных сетях связи ОАО «РЖД» в соответствии с Концепцией её развития [3]. Цифровые тракты формируются поэтапно. В пункте передачи сигналы технологических каналов, сформированные в первичных мультиплексах уровня E1, обрабатываются в аппаратуре синхронной цифровой иерархии SDH, затем передаются в оборудование спектрального разделения DWDM, далее – проходят в составе оптических каналов по кабельной линии, а в пункте приёма производится полное обратное преобразование.

В состав стенда входят две оконечные станции, каждая из которых состоит из основных блоков: агрегатора-мультиплекера MS-DC10FP-Q3F/01, транспондера TS-10EP-01, мультиплекера OADM-4/4-AV-PM-0, а также блока управления аппаратуры «Волга» [4]. Кабельную линию имитирует оптическое волокно, длина которого изменяется в зависимости от имеющегося специального набора катушек. На стенде, за счёт реализации различных режимов работы блоков оборудования аппаратуры технологии DWDM, путем программирования административного состояния клиентских и линейных портов блоков, имеется возможность не только измерения основных параметров организуемых трактов, но и выполнения ряда исследований. Таких как:

- моделирование влияния выбора мощности оптического излучения передатчика и чувствительности оптического приёмника на качественные показатели организуемых трактов в соответствии с Рекомендацией МСЭ-T G.821 («секунды с ошибками ES», «секунды, поражённые ошибками SES», «время доступности AS и время недоступности UAS предоставляемых услуг»);
- исследование зависимости допустимой скорости передачи сигналов в линии от выбранных типов и марок оптических волокон;

- исследование условий появления нелинейных процессов в волокне, выбор максимальной допустимой мощности оптического сигнала.

Процесс передачи цифровых потоков STM-1/4/16 моделируется подключением универсального тестера цифровых сигналов к блоку агрегатора-мультиплексера MS-DC 10EP-Q3F/01 станции «А» стенда. При этом на станции «Б» организуется режим переприёма сигналов в аналогичном блоке агрегатора-мультиплексера.

Как известно, при проведении тестирования телекоммуникационных систем без отключения тракта, показатели качества оцениваются с помощью событий, которые группируются в «аномалии -*ai*» и «дефекты-*di*». Аномалии представляют собой события, при которых обнаруживаются минимальные отклонения реальной характеристики от номинальной. Аномалии не являются препятствием для выполнения функций устройством. Однако при большой плотности вероятности появления аномалий, они трансформируются в дефекты. Поэтому аномалии используются при мониторинге для определения дефектов. К дефектам относятся события, при которых выполнение функций устройством прекращается. В соответствии с рекомендациями МСЭ-Т в трактах СЦИ определяются: аномалии *ai* – как блок с ошибкой EB (Errored Block), установленные с помощью процедуры проверки чётности чередующихся битов (BIP), и дефекты *di* на ближнем и дальнем конце тракта.

Результаты моделирования работы телекоммуникационного оборудования выводятся в специальных вкладках последовательно для следующих элементов: регенераторной и мультиплексной секций, трактов высокого и низкого уровней, а также трибутарных групп. Во вкладке «SDH» для вывода параметров регенераторной секции RSON используется окно тестера «RSON». Аварийные сигналы «LOS», «LOF» указывают соответственно о событиях «Потеря сигнала», «Потеря кадровой синхронизации», которые относятся к дефектам. Ошибки, обнаруженные при проверке чётности чередующихся битов BIP в регенераторной секции, указываются сигналом «B1» и идентифицируются как аномалии.

В окне тестера мультиплексорной секции «MSON» сигналом «B2» индицируются ошибки, которые относятся к аномалиям и выявляются при проверке чётности чередующихся битов в секции. Сигналом «MS-AIS» выполняется индикация дефекта – аварийного состояния секции. При обнаружении ошибки на удалённом конце мультиплексорной секции, которое осуществляется также с помощью процедуры BIP и является аномалией, вырабатывается сигнал «MS-REI». Индикация дефекта на удалённом конце мультиплексорной секции выполняется сигналом «MS-RDI». В процессе эксплуатации аппаратуры SDH указанные сигналы индикации аномалий о наличии ошибок и дефектов на удалённом конце мультиплексорной секции передаются в обратном

направлении (в начало тракта) для принятия мер по их устранению в пункте мониторинга.

В окне тестера «HP» выводятся параметры трактов высокого ранга. Важнейшими из них являются: индикация аномалий – ошибок тракта высокого уровня «B3» и ошибок на удалённом конце тракта «HP-REI», а также индикация дефектов на ближнем конце «AU-AIS» и «AU-LOP», дефекта на удалённом конце участка тракта «HP-RDI».

Окно «LP» используется для вывода параметров тракта низкого ранга: индикации аномалий – ошибок тракта низкого уровня «LP-BIP», ошибок на удалённом конце «LP-REI», а также дефектов на ближнем конце «TU-AIS» и «TU-LOP» и дефекта на дальнем конце «LP-RDI». Информация об аномалиях и дефектах на дальнем конце трактов высокого и низкого рангов передается в начало тракта и используются при мониторинге для их устранения.

Во вкладке «E1» для вывода параметров трибутарных групп используется окно тестера «Кадр/AIS». Аварийный сигнал «FAS» указывает об аномалии – приёме циклового синхросигнала с ошибками. Дефекты индицируются сигналами: «LOS» – пропадание сигнала, «AIS» – аварийное состояние, «LOF» – пропадание цикловой синхронизации. В окне «G.821 OOS» приводятся сведения о секундах с ошибками «ES», секундах, поражённых ошибками «SES», коэффициенте ошибок по секундам с ошибками «ESR», коэффициенте ошибок по секундам, поражёнными ошибками «SESR», о секундах неготовности канала «UAS».

Таким образом, разработанный на кафедре «Электрическая связь» Петербургского государственного университета путей сообщения Императора Александра I стенд на базе телекоммуникационного оборудования технологий DWDM и SDH позволяет, моделируя различные условия функционирования, определять такие значения уровней передачи и приёма оптических сигналов при различных длинах участков регенерации и мультиплексирования, при которых обеспечивается выполнение норм на качественные показатели организуемых каналов и трактов. Стенд используется для подготовки и повышения квалификации специалистов в области эксплуатации телекоммуникационных сетей связи.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Шмыгинский В.В., Глушко В.П. Оборудование многоканальной связи на сети РЖД // Автоматика, связь, информатика. 2020, №2. С. 28-32.
- [2] Оборудование волоконно-оптической системы передачи со спектральным уплотнением «Волга». Руководство по эксплуатации. Компания «Т8», 2022.
- [3] Основные направления развития телекоммуникаций ОАО «РЖД» до 2025 года. // ЦСС ОАО «РЖД». Москва, 2021. 111 с.
- [4] Глушко В.П., Шмыгинский В.В. Применение аппаратуры технологии DWDM на сетях связи железнодорожного транспорта // Сборник материалов 78-й научно-технической конференции СБНТОРЭС им. А.С. Попова, посвященной дню Радио. СПбГЭТУ ЛЭТИ. СПб., 2023. С. 206-208.