

Возможности применения технологии OTN на сети связи железнодорожного транспорта с использованием аппаратуры импортозамещения

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. Рассмотрены вопросы применения технологии оптических транспортных сетей (OTN) на сети связи железнодорожного транспорта на примере аппаратуры со спектральным разделением каналов отечественного производства.

Ключевые слова: железнодорожный транспорт; оптические транспортные сети; DWDM системы передачи

Магистральная цифровая сеть связи российских железных дорог (МЦСС) строилась на основе оборудования технологии синхронной цифровой иерархии SDH (Synchronous Digital Hierarchy), т. к. оно полностью удовлетворяло потребности технологических процессов транспортных подразделений, обеспечивающих перевозочный процесс [1]. Эта технология отвечает высоким требованиям по надежности и управляемости трафика. Основанная на принципах временного разделения каналов (ВРК/TDM), она обеспечивала возможность передачи пакетного трафика IP, Ethernet. Однако на практике, учитывая бурный рост трафика в сетях передачи данных, для их построения используются отдельные волокна в кабелях.

Хотя проблемы в пропускной способности волокна нет, однако имеются ограничения в количестве оптических волокон в кабелях, проложенных вдоль железных дорог и в организации единой системы управления разнородными системами передачи.

Проводимая в настоящее время в соответствии с основными направлениями развития телекоммуникаций на первичной сети связи железнодорожного транспорта модернизация, базирующаяся на применении аппаратуры спектрального разделения каналов WDM (Wavelength Division Multiplexing), позволяет существенно повысить её пропускную способность [2, 3]. При этом количество спектральных каналов WDM в оптическом волокне, может варьироваться на конкретных участках железнодорожной сети от нескольких единиц до нескольких десятков.

Технология WDM в десятки раз повысила пропускную способность волокон и стала существенным шагом в повышении экономической эффективности сетей связи в целом, объединив в одной системе передачи разнородный высокоскоростной трафик.

На магистральной сети связи используется оборудование плотного спектрального мультиплексирования DWDM (Dense Wavelength Division Multiplexing), на дорожном и региональном – CWDM (Coarse Wavelength Division Multiplexing)

разреженного или грубого спектрального мультиплексирования. По каждому спектральному каналу аппаратуры DWDM магистральной сети могут передаваться сигналы систем SDH уровней STM-4/16/64, пакетный трафик сети передачи данных 1/2,5/10/ G Ethernet [3]. Для обеспечения возможности управления трафиком, представленным в разных форматах, в современных системах спектрального разделения каналов применяют принципы форматирования цифровых сигналов на основе оптических транспортных сетей OTN (Optical Transport Network).

Применение технологии OTN при формировании трактов в спектральных каналах WDM позволяет совместить мультисервисную передачу пакетизированных данных и системного традиционного трафика с управлением и мониторингом любого из оптических каналов. При этом для контроля и управления сигнальной информацией используются алгоритмы добавления заголовков к оптическим транспортным структурам. Таким образом, в OTN адаптируется для оборудования DWDM хорошо зарекомендовавшая версия формирования транспортных модулей STM технологии SDH [4].

Современные системы DWDM используют принципы OTN, параметры которой стандартизованы рекомендацией ITU-T G.709 [4]. С помощью технологии OTN появляется возможность значительно повысить экономическую эффективность организуемых трактов при передаче по транспортной сети сигналов STM, IP, Ethernet. Это достигается путём упаковки разнородного трафика в стандартизованных контейнерах, передачи его по сети с требуемым качеством при минимуме ошибок с фиксированным временем его доставки.

Ведущие производители магистрального оптического оборудования производят DWDM-системы, которые обеспечивают передачу до 96 каналов по одному волокну с полезной скоростью в каждом канале до 100 Гбит/с. Ведётся разработка перспективных DWDM-систем, как в области увеличения количества каналов (до нескольких сотен), так и в области увеличения скорости в каждом канале (до 200 Гбит/с, 400 Гбит/с и более) [3, 4].

Среди отечественных производителей такого оборудования одним из ведущих предприятий является Компания «Т8». Аппаратура этой компании для магистральных оптических линий связи «Волга» успешно применяется на сетях крупных операторов связи нашей страны [5]. Аппаратура полностью соответствует международным стандартам DWDM-

систем, которые дополнены цифровой оболочкой OTN. Все транспондеры аппаратуры формируют сигналы на соответствующих длинах волн в форматах OTN и, кроме того, составной частью мукспондеров является OTN-коммутатор (X-Connect), который обеспечивает перераспределение трафика в форматах OTN между клиентскими портами устройства и позволяет в одном оптическом канале на одной длине волны передавать клиентский трафик разных форматов.

В Петербургском государственном университете путей сообщения Императора Александра I на кафедре «Электрическая связь» организован стенд для изучения принципов построения аппаратуры DWDM/OTN на базе оборудования «Волга» [6].

Контроль параметров базовых блоков и составных частей оборудования можно наблюдать в процессе выполнения лабораторных работ, с помощью системы мониторинга/управления. В блоке управления фиксируются события, связанные с действиями оператора, формируется и хранится база данных параметров, собранных в процессе опроса блоков оборудования.

В структуре преобразования сигналов в аппаратуре DWDM/OTN вначале формируется оптический блок нагрузки OPU (Optical Payload Unit), в котором сигналы инкапсулируются в контейнеры и мультиплексируются для дальнейшей передачи по сети. Он содержит в своем составе клиентский сигнал и специальный заголовок OPU OH (Over Head), которые передаются в сети в неизменном виде от точки загрузки до точки выгрузки [4, 5].

Далее к блоку OPU присоединяется специальная служебная информация, что позволяет сформировать второй блок – оптический блок данных ODU (Optical Data Unit). Служебная информация позволяет производить мониторинг прохождения сигнала по сети и управлять процессом передачи сигнала. Специальный протокол в блоке ODU выполняет мультиплексирование четырех блоков OPU1 в блок OPU2. Блок ODU служит основой для формирования третьего блока – оптического транспортного блока OTU (Optical Transport Unit), в котором добавляется эффективный алгоритм «прямой коррекции ошибок» FEC (Forward Error Correct). Указанный алгоритм позволяет обнаруживать и исправлять ошибки без повторной передачи сообщений [4, 5].

Такое преобразование производится для каждой длины волны DWDM, сформированный OTU передается в линию в виде оптического канала (OCh, Optical Channel).

Таким образом, применение принципов OTN на сети связи железнодорожного транспорта призвано обеспечить:

- размещение разнородного трафика, передаваемого по сети в стандартизованные форматы OTN на передаче и их выгрузку на приеме;
- мультиплексирование и демultipлексирование сигналов OTN разных уровней;

- прямую коррекцию ошибок FEC в каналах OTN;
- контроль и управление трафиком, передаваемым по оптической сети.

В технологии OTN стандартизованы пять скоростей передачи сигналов: OTU-0 (1,25 Гбит/с), OTU-1 (2,5 Гбит/с), OTU-2 (10 Гбит/с), OTU-3 (40 Гбит/с) и OTU-4 (100 Гбит/с) [4].

Таким образом, технология OTN с использованием аппаратуры DWDM/OTN является перспективной для построения новых и модернизации существующих оптоволоконных магистралей железнодорожного транспорта.

Дальнейшее развитие технологии OTN ведет к созданию полностью оптических сетей с использованием OTN-коммутаторов, что позволит перераспределять OTN-трафик между различными портами одного устройства на уровне отдельных контейнеров ODU, через систему управления, либо в автоматическом режиме в зависимости от загрузки каналов [4].

Для сети связи железнодорожного транспорта использование OTN-коммутаторов перспективно в промежуточных узлах магистральной железнодорожной сети связи [7]. Это позволит динамически распределять по различным маршрутам низкоскоростные контейнеры OTN, содержащие сигналы оперативно-технологических и обще-технологических сетей связи железнодорожного транспорта.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Шмытинский В.В., Глушко В.П. Оборудование многоканальной связи на сети РЖД // Автоматика, связь, информатика. 2020. № 2. С. 28-32.
- [2] Основные направления развития телекоммуникаций ОАО «РЖД» до 2025 года. ЦСС ОАО «РЖД». Москва. 2021. 111 с.
- [3] Листвин В.Н., Трешиков В.Н. DWDM-системы. М.: Изд-во «Техносфера». 2017. 352 с.
- [4] Ибрагимов Р.З., Фокин В.Г. Проектирование современных оптических транспортных сетей связи. СПб.: Изд-во «Лань». 2023. 112 с.
- [5] Оборудование волоконно-оптической системы передачи со спектральным уплотнением «Волга». Руководство по эксплуатации. Компания «Т8». 2022. 125 с.
- [6] Шмытинский В.В., Глушко В.П. Практические навыки изучения систем со спектральным разделением каналов. // Автоматика, связь, информатика. 2024, №8. С.11-13.
- [7] Канаев А.К., Казакевич Е.В., Сахарова М.А., Прошин Ф.А. Моделирование процесса обработки меток времени на устройствах транспортной сети. Труды учебных заведений связи. 2024;10(2): С.34-47.