

СЕТИ 5G: ЭВОЛЮЦИЯ К ОТКРЫТЫМ ОПТОВОЛОКОННЫМ ОПТИЧЕСКИМ ТРАНСПОРТНЫМ СЕТЯМ

Часть 2. Стандартизация решений для открытых оптических транспортных сетей

С.С.Коган, к.т.н., советник генерального директора компании "Т8"
по формированию технической стратегии / kogan@t8.ru

УДК 621.391, DOI: 10.22184/2070-8963.2023.114.6.54.62

При развертывании сетей мобильной связи 5G поверх существующей или вновь создаваемой оптической транспортной инфраструктуры операторы сетей и провайдеры телекоммуникационных услуг заинтересованы во внедрении открытых решений, позволяющих применять на одной транспортной сети аппаратные платформы (АП) и программное обеспечение / операционные системы (ПО/ОС) разных производителей. Этот интерес стимулируется также внедрением на сети 5G новых, облачных, технологий с широким использованием центров хранения и обработки данных (ЦОД). Для открытых оптических транспортных решений рассматриваются варианты вертикальной (разделение АП и ПО/ОС) и горизонтальной (функциональная декомпозиция узлов сети) дезагрегации. В цикле статей представлены полностью или частично дезагрегированные варианты решений (часть 1), дан обзор работ по стандартизации решений (часть 2) для открытых оптических транспортных сетей.

ВВЕДЕНИЕ

Основными стимулами к дезагрегации на уровне оптической транспортной сети являются:

- выбор наиболее приемлемой технологии для сетевых элементов оптических транспортных сетей;
- выбор для оптических транспортных сетей наилучших коммерческих и технических предложений от производителей аппаратной платформы (АП) и программного обеспечения / операционных систем (ПО/ОС);
- разделение в оптических транспортных сетях жизненных циклов открытого оптического линейного тракта O-OLS и открытых оптических оконечных устройств O-OT.

В стандартизацию открытых решений для оптических транспортных сетей вовлечено несколько международных комитетов и альянсов, например:

- Telecom Infra Project (TIP) [4];
- Open Networking Foundation (ONF) [12];
- OpenROADM MSA [13];
- Open RAN [14] и т. д.

В этих организациях рассматриваются, в частности, открытые API и стандартизированные модели данных YANG, а производители оборудования (Nokia, Cisco, Infinera, Ribbon, ADVA и т. д.) разрабатывают АП и ПО/ОС, ориентированные на использование стандартизированных открытых интерфейсов управления.

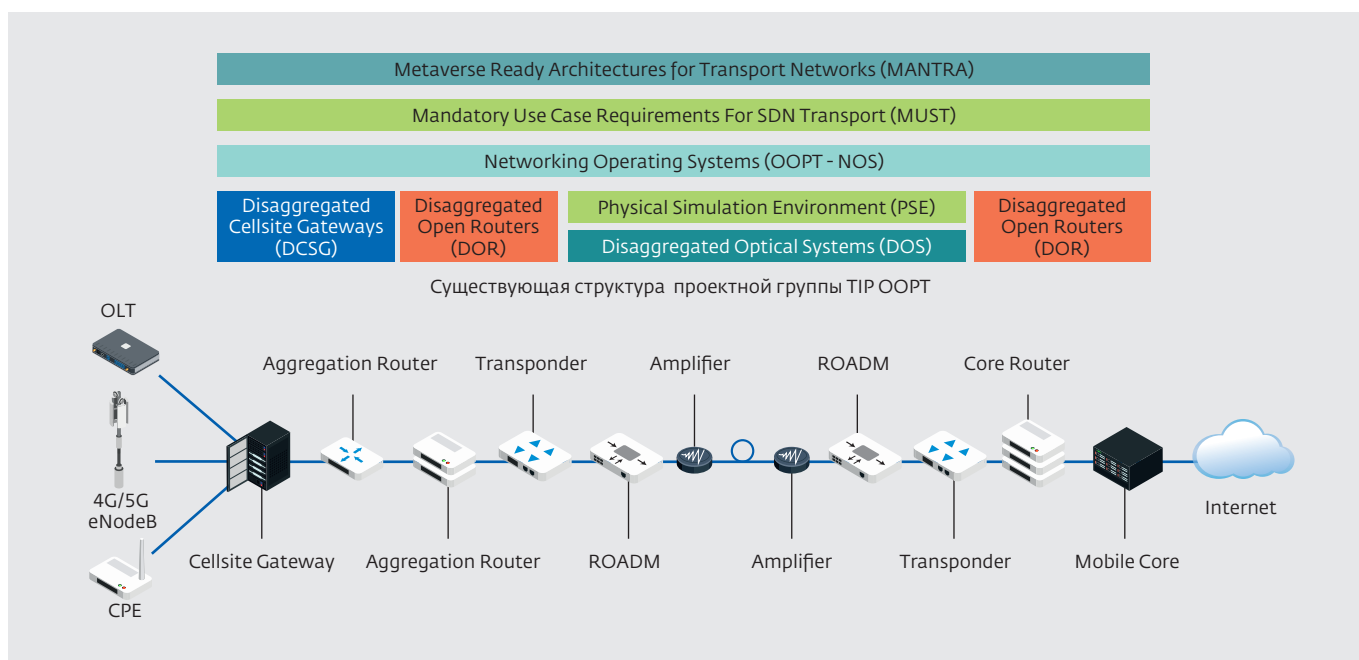


Рис.1. Открытая полностью деагрегированная оптическая транспортная сеть (TIP OOPT)

TELECOM INFRA PROJECT (TIP)

Основное внимание в TIP уделяется определению открытой среды для оптических транспортных сетей. Проект TIP OOPT (Open Optical Packet Transport) [4] представляет собой инженерно-ориентированную работу, возглавляемую крупными операторами, поставщиками технологий и исследовательскими институтами, направленную на реализацию возможностей управления мультивендорными сетями и произвольного выбора наиболее подходящих решений для сетевых элементов у любых поставщиков.

Архитектура открытой и деагрегированной оптической транспортной сети для проекта TIP OOPT представлена на рис.1 [1].

В рамках проекта рассматриваются различные архитектурные элементы открытой транспортной сети, включая оптические транспонеры O-OT, оптические линейные системы O-OLS, устройства IP-доступа, открытые интерфейсы T-API, а также программные средства моделирования и планирования сети.

Терминология, принятая в проекте TIP:

- Open (открытый) – наличие этого термина в наименовании какой-либо составляющей открытой транспортной сети, например, O-OLS (Open Line System, открытая оптическая линейная система) подразумевает, что данная система, или часть оборудования, либо программное обеспечение (SW), или сетевая

функция и т. п. предоставляет интерфейсы (например, интерфейсы прикладного программирования API, Application Programming Interfaces) с хорошо известным стандартным протоколом, моделью и правилами их использования операторами для интеграции в свои сети и системы OSS (Operation Support System) / BSS (Business Support System). Эти интерфейсы специфицированы в документах рабочей группы MUST (пояснения даны ниже);

- Network Element (NE, сетевой элемент) – это часть оборудования, содержащая однородные сетевые функции, выполняемые в одном или нескольких конструктивных элементах (полках) с функциональными блоками, но рассматриваемая системой управления сетью (в том числе контроллерами SDN) как единый объект управления, подключенный к системе управления через интерфейс API, который часто называют южным интерфейсом SBI (South Bound Interface);
- Optical Transport Network (ON, оптическая транспортная сеть) – полный набор сетевых элементов (NEs), соединенных между собой в определенной сетевой топологии (например, ячеистая сеть/Mesh с многосвязными узлами MD ROADM, или линейная цепочка узлов ILA и ROADM, либо соединение пары узлов по схеме "точка – точка"), а также программное обеспечение для контроля и управления

и все связанные с ним функциональные возможности, позволяющие предоставлять транспортные услуги клиентам оптических транспортных сетей OTN/DWDM.

В зависимости от применения и принятой топологии открытая транспортная сеть может включать в себя все из перечисленных ниже типов сетевых элементов или только типы, необходимые для решения тех или иных задач:

- ▶ Optical Terminal (OT, оптическое оконечное устройство, например оптический транспондер или мукспондер, либо агрегатор) – сетевой элемент (узел сети), который обеспечивает размещение цифрового электрического сигнала в оптическом канале (на длине волны) оптической транспортной сети OTN/DWDM для дальнейшей передачи по оптоволокну, то есть в аналоговой среде передачи. Это обязательный сетевой элемент любой оптической транспортной сети OTN/DWDM. Дополнительные пояснения приведены ниже;
- ▶ Reconfigurable Optical Add Drop Multiplexer (ROADM, реконфигурируемый оптический мультиплексор ввода/вывода оптических каналов / длин волн) – сетевой элемент (узел сети) включает функциональность оптической кросс-коммутации оптических каналов, оптического усиления группового сигнала DWDM, выравнивание уровней оптической мощности оптических каналов на входе оптического участка сети OTS (Optical Transport Section), а также функции ввода/вывода оптических каналов;
- ▶ Mux/Demux (мультиплексоры/демультиплексоры) – сетевые элементы, обеспечивающие ввод/вывод оптических каналов в оконечных узлах сети, зачастую независимо от используемых длин волн (colourless functionalities). Сетевой элемент применяется на обоих концах в топологии линейной цепочки OLS, а также в узлах сети для топологии "точка – точка";
- ▶ In-Line Optical Amplifier (ILA, промежуточные оптические усилители) – сетевые элементы (узлы сети), которые размещаются на протяженных оптоволоконных линиях между сетевыми элементами Mux/Demux и ROADM для компенсации затухания

оптического сигнала на соответствующих участках OTS оптоволоконной сети;

- Open-Optical Network (O-ON, открытая оптическая транспортная сеть) – оптическая транспортная сеть, которая соответствует требованиям открытости/open и дезагрегации/disaggregation проекта TIP. В частично дезагрегированной сетевой архитектуре такая сеть, как правило, состоит из открытой линейной системы (O-OLS) и открытых транспондеров/мукспондеров или агрегаторов (O-OT);
- Optical Terminal (OT, оптический терминал) – в контексте этого документа обозначает категорию сетевых элементов (NEs) оптической транспортной сети, включающих функциональность транспондеров, а именно размещение 1:1 клиентского сигнала в OTN-блоке ODUk и далее в OTUk на линейном интерфейсе (длине волны); мукспондеров или агрегаторов, а именно размещение N:1 клиентских сигналов в OTN-блоках ODUk и далее в OTUk на линейном интерфейсе (длине волны); свитчпондеров (uplinks). Свитчпондер – это часть узла (включающая линейный интерфейс) с централизованной матрицей OTN кросс-коммутации N:M, которая отличается функциональностью мультиплексирования и размещением сигналов ODUk в транспортном блоке OTUk для дальнейшей передачи его по OLS через линейный интерфейс на выбранной длине волны. Роль сетевых элементов OT заключается в адаптации цифровых сигналов для их последующей передачи по каналам оптической транспортной сети OTN/DWDM;
- Open-Optical Terminal (O-OT, открытый оптический терминал) – расширенное определение оптического терминала с учетом поддержки открытых и стандартных интерфейсов управления (Open and Standard management interfaces), а также его автономного (независимо от варианта реализации открытой оптической линейной системы O-OLS) развертывания и управления. Под сокращением O-OT понимаются открытые оптические транспондеры/мукспондеры или агрегаторы разных производителей, в которых размещаются цифровые клиентские сигналы в блоках данных OTN ODUk и далее в транспортном блоке OTUk оптического канала, то есть в линейном сигнале DWDM – оптическом канале (длины волны). "Цветные" линейные оптические сигналы (на определенной длине волны), поступившие от внешнего

оборудования O-OT, передаются прозрачно по одной или цепочке открытых линейных систем O-OLS. В этом случае каждая система O-OLS рассматривается как открытый сегмент оптической транспортной сети, который в качестве клиентских сигналов поддерживает исключительно оптические аналоговые каналы DWDM (длины волн). Блоками O-OT поддерживается интерфейс API (SBI) с системой управления;

- Northbound interface (NBI, северный интерфейс) – это интерфейс прикладного программирования (API) или протокол, который позволяет сетевому компоненту более низкого уровня взаимодействовать с более высоким или центральным компонентом, в то время как Southbound interface (SBI, южный интерфейс) предоставляет возможность компоненту более высокого уровня отправлять команды сетевым компонентам на более низком уровне;
- Open-Optical Line System (O-OLS, система открытых оптических линий) – полный и автономно управляемый линейный тракт оптической транспортной сети O-OLS, поддерживающий в качестве клиентов оптические

аналоговые каналы DWDM, формируемые внешним оборудованием любого производителя. Термин "открытый" применен потому, что по O-OLS передаются аналоговые клиентские сигналы, то есть оптические каналы (длины волн), поступившие от внешнего оборудования (Alien Lambda или Alien Wavelength) O-OT. Системой O-OLS поддерживается южный интерфейс API (SBI) для взаимодействия с централизованной системой управления сетью и/или контролером SDN;

- Open-Optical Line Interface (O-OLI, интерфейс открытой оптической линии) в контексте частичной дезагрегации определяет физический и логический интерфейсы конкретного оптического канала DWDM между O-OTs и O-OLS. Таким образом, O-OLI служит функциональной и административной демаркационной точкой между O-OLS и набором внешних O-OTs, генерирующих оптические каналы Alien Wavelengths. O-OLI предоставляет всю необходимую физическую, контрольную и управленческую информацию, чтобы согласовать Alien Wavelengths с открытым оптическим линейным трактом и использовать возможности сигнала со



NMS «Титан» – эффективное управление российским DWDM-оборудованием

«Титан» – новая система управления класса NMS (Network Management System) для централизованного управления оборудованием DWDM и интеграции с внешними IT-системами (OSS/BSS)

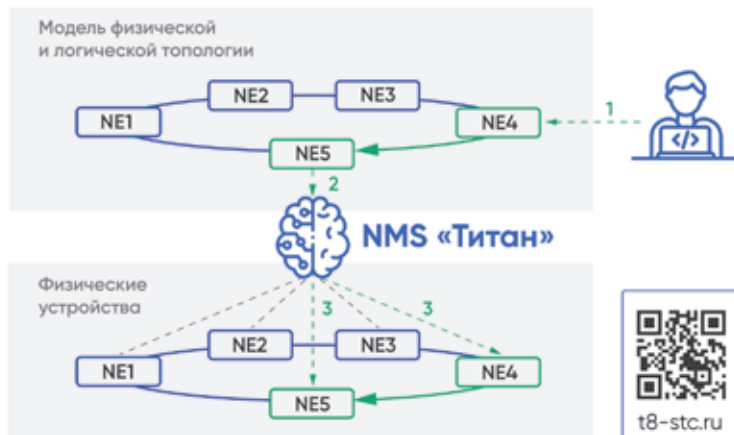
Netconf / YANG

Linux / Astra Linux SE

Реестр российского ПО

Новые функциональные возможности

- Централизованное управление сетью и возможность автоматического создания трейлов
- Телеметрия параметров оборудования и сервисов в режиме реального времени
- Интеграция с OSS: NBI интерфейс REST API



T8 – разработчик и производитель телекоммуникационного оборудования спектрального уплотнения (DWDM) и инновационных решений для оптических сетей связи

+7 (499) 271 61 61

t8.ru

info@t8.ru

структурой OTN на уровне O-OLI для формирования и обслуживания составной оптической транспортной сети;

- Open-Planning and Impairment Validation (O-PaIV) – открытое планирование и проверка характеристик системы на возможное ухудшение условий передачи. Функциональность планирования открытой сети предусматривает:
 - ▶ проектирование открытой оптической линейной системы O-OLS,
 - ▶ проверку допустимых значений уровней оптической мощности в конце срока эксплуатации EoL (End of Life) на соединениях (длинах волн) между линейными интерфейсами O-OT, организуемыми поверх O-OLS.

Предполагается, что любая третья сторона может выполнять указанные два вида операций, поскольку производители O-OLS и O-OLI совместно предоставляют необходимые данные.

Обязанности рабочих групп проекта TIP ООПТ заключаются в следующем:

- рабочая группа CANDI (Converged Architectures for Network Disaggregation & Integration, конвергентные архитектуры для дезагрегирования и интеграции сети) разрабатывает варианты практического использования и устанавливает цели внедрения решений для открытых оптических сетей (Open-Optical Networks);
- группа MUST (Mandatory Use Case Requirements for SDN for Transport, обязательные требования к вариантам использования для транспортного SDN) нацелена на ускорение разработки и внедрения стандартов SDN для IP/MPLS, оптических и микроволновых (ППЛ) транспортных технологий. Определяет эталонную архитектуру программно-определяемой сети SDN, приоритеты и специфические требования к реализации некоторых вариантов внедрения SDN-решений, подробно описывает наиболее подходящие стандартные интерфейсы, протоколы и модели данных;
- рабочая группа PSE (Physical Simulation Environment, среда физического моделирования) занимается функциями выявления и подтверждения отказов на уровне оптической транспортной сети. Это первая в отрасли попытка разработать программный инструмент с открытым исходным кодом для планирования оптических сетей на оборудовании от нескольких производителей. Продукт

планирования, который активно разрабатывается, нацелен на то, чтобы операторы, имея независимый способ излагать свои требования и моделировать условия сети, не зависели от производителей поставляемого оборудования при планировании маршрутов трактов/каналов и пропускной способности сети. Члены проектной группы, включая Cisco, Facebook, Juniper, Microsoft, Orange, Туринский политехнический университет и компанию Telia, внесли большой вклад в создание этого программного инструмента;

- рабочая группа DOS (Disaggregated Optical Systems, дезагрегированные оптические системы) определяет решения для новых открытых оптических оконечных устройств (O-OT) и открытых оптических линий (O-OLS) в соответствии с требованиями операторов сетей и с учетом общей архитектуры сети. Задачи аппаратной реализации транспондеров/мультиплексов или агрегаторов O-OT решаются в виде следующих "белых ящиков", лишенных специфики конкретного производителя (White box) [5]:

- ▶ Cassini [6]: открытый когерентный пакетный/OTN оптический транспондер типа "белый ящик" с функциональностью L2/L1/L0 для сетевых уровней от периферии (Edge) до ядра (CORE) – реализована функциональность пакетной коммутации L2 для 100 GbE и транспортные функции OTN/DWDM уровня L1/L0. Высота блока составляет 1,5RU, 16 клиентских портов (интерфейсов) по 100 GbE каждый со сменными модулями QSFP28, восемь линейных интерфейсов 100G/200G OTN,
- ▶ Phoenix [7]: открытый когерентный оптический OTN транспондер/мультиплекс или агрегатор типа "белый ящик" с функциональностью L0/L1, который операторы могут использовать для увеличения пропускной способности ранее построенных оптических сетей METRO/Backhaul/Backbone/DCi.

Высота блока составляет 1RU. Предусмотрен различный набор клиентских интерфейсов 100GE и/или 400GE:

- » 16×100GE (QSFP28),
- » 8×100GE (QSFP28) + 2×400GE (QSFP-DD),
- » 4×100GE (QSFP28) + 3×400GE (QSFP-DD),
- » 4×400GE (QSFP-DD).

Имеется четыре сменных модуля (4×400G) с OTN линейными интерфейсами

в каждом. Доступен вариант сменных блоков с линейными интерфейсами 100G OTN и 200G OTN,

- ▶ Galileo [8]: открытый когерентный пакетный оптический транспондер/мультиплексор или агрегатор типа "белый ящик", ориентированный на открытые, деагрегированные, сети взаимодействия ЦОД. Высота блока составляет 1RU. Предусмотрены 12 клиентских портов со сменными модулями-трансиверами QSFP28 и четыре линейных порта со сменными модулями-трансиверами типа CFP2-ACO 100G/200G или CFP2-DCO 100G/200G, либо 2×100G портами с модулями QSFP28,
- ▶ Voyager [9]: открытый и деагрегированный конвергентный пакетный оптический транспондер с оригинальным дизайном, предложенным Facebook (АП от компании Adva Optical с ПО от Cumulus Networks).

Представленные аппаратные средства относятся к изделиям типа "белый ящик" (White box). Они отделены от программных средств Network Operation System (NOS), которые используются для управления этими сетевыми элементами;

- рабочая группа NOS (Network Operating System, сетевые операционные системы) рассматривает решения по сетевой операционной системе (NOS) с открытым исходным кодом, которые поддерживают деагрегированные аппаратные платформы и имеют следующие преимущества:
 - ▶ производители открытых аппаратных платформ смогут проверять характеристики оборудования,
 - ▶ производители открытых программных средств NOS позволят операторам сетей и системным интеграторам опираться при выборе решений на результаты объективного сравнения систем от разных производителей,
 - ▶ производители открытых аппаратных и программных средств смогут проверять оптические транспортные решения без партнерства с коммерческими поставщиками NOS.

ONF: ПЛАТФОРМЫ ONOS/CORD И ПРОЕКТ ODTN

Фонд открытых сетей ONF (Optical Network Foundation) – консорциум операторов сетей, признанный лидер в области решений с открытым

исходным кодом для операторов – нацелен на предоставление сетевым операторам свободы построения динамичной, рентабельной, гибкой, безопасной сетевой инфраструктуры, способной адаптироваться к меняющейся среде.

В ONF разрабатываются варианты перехода к программно-определяемым сетевым решениям (Software-Defined Network, SDN) и методы развития технологии программно-определяемых центров хранения и обработки данных ЦОД (Software-Defined Data Center, SDDC) на основе открытого кода. Открытый исходный код – это децентрализованная модель разработки, которая позволяет любому человеку изменять технологию и обмениваться ею, поскольку ее структура имеется в открытом доступе. Термин возник в контексте разработки программного обеспечения для обозначения того, что ПО соответствует определенным критериям свободного распространения. Сегодня термин "метод открытого кода" обозначает более широкий набор ценностей, основанный на принципах свободного обмена информацией, быстрого создания образцов и совместной разработки. Каждый может вносить новые идеи и совершенствовать технологию, чтобы она развивалась органично.

Проект ONF впервые был запущен в 2011 году в качестве стандартного носителя программно-определяемых сетей (SDN). Во главе с партнерами-операторами AT&T, China Unicom, Comcast, Deutsche Telekom, Google и "Тюрк Телеком" ONF, работающий также в тесном контакте с операторами сетей и другими заинтересованными сторонами, насчитывает более 200 партнеров, членов и сотрудников.

Платформа ONOS (Open Network Operating System), разрабатываемая совместно ONF & TIP, предусматривает создание контроллера SDN с открытым исходным кодом для решений SDN/NFV следующего поколения [10]. Платформа ONOS должна обеспечить настройку и управление сетью в режиме реального времени. При перемещении интеллектуальных функций в облачный контроллер ONOS можно оперативно внедрять инновации, а конечные пользователи могут легко создавать новые сетевые приложения без необходимости изменять систему в плоскости обработки и передачи данных.

Платформа ONOS включает в себя:

- набор приложений, которые действуют как расширяемый модульный распределенный контроллер SDN;
- упрощенное управление, настройку и развертывание нового программного обеспечения, а также оборудования и услуг;

- горизонтально масштабируемую архитектуру, обеспечивающую отказоустойчивость и масштабируемость, необходимые для соответствия жестким требованиям операторов связи.

CORD (Central Office Re-architected as a Data Center, центральный офис, спроектированный как ЦОД) изначально создавался как пример использования результатов активности ONOS для стимулирования внедрения программно-определяемых сетей, виртуализации сетевых функций и облачных решений [11].

Новая базовая реализация CORD определяет общую, способную к расширению, открытую платформу для сетевых операторов, основанную на аппаратном обеспечении типа "белый ящик" и таких программных платформах с открытым исходным кодом, как ONOS, OpenStack и XOS. Среди участников платформы – поставщики услуг, производители оборудования и другие организации:

- в роли партнеров-поставщиков услуг выступают AT&T, China Unicom, NTT Communications, SK Telecom и Verizon;
- партнерами-поставщиками аппаратного и программного обеспечения являются Ciena, Cisco, Ericsson, Fujitsu, Huawei, Intel, NEC и Nokia;
- поддерживают платформу Accton, AirHop, Broadcam, Cavium, Celestica, Ciena, Cobham, Flextronics, NetCracker, PMC Sierra и Radisys.

Проект ONF ODTN (Open Disaggregated Transport Network) нацелен на создание экосистемы оптических периферийных устройств типа "белый ящик", что позволит в конечном счете комбинировать несколько компонентов и встраивать их в комплексные сетевые решения. Производитель сможет сосредоточиться на создании конкретного компонента (например, оптического транспондера/мукспондера или агрегатора) без необходимости проектировать комплексное сетевое решение, что будет способствовать ускоренному внедрению инноваций. У операторов появится свобода выбора лучших в своем классе компонентов, не будет привязки к конкретным производителям, тем самым они получают определенную гибкость в выборе решений при развитии сети.

Развивается сотрудничество между ONF ODTN и группой OOPT (Open Optical & Packet Transport) проекта TIP [12]. В рамках активности OOPT были представлены две открытые транспондерные системы типа "белый ящик", а именно Voyager и Cassini.

THE OPENROADM MULTI-SOURCE AGREEMENT (MSA)

Соглашение OpenROADM MSA 2016 года заключено между несколькими производителями оборудования и сетевыми операторами, среди которых оператор "Ростелеком" и производитель оборудования OTN/DWDM "Т8" из Российской Федерации. Документ нацелен на определение технических характеристик, выполнение которых необходимо для обеспечения совместимости реконфигурируемых оптических мультиплексоров ввода/вывода оптических каналов (ROADM) на открытой оптической транспортной сети. Рассматриваются требования не только к ROADM, но и к оптическим транспондерам/мукспондерам или агрегаторам, к сменным (pluggable) оптическим модулям-трансиверам.

Предполагается, что все эти сетевые элементы управляются централизованно от SDN-контроллера через интерфейсы API на основе открытых стандартов, использующих протокол NETCONF и модель данных YANG.

В соответствии с документами Open ROADM MSA для упрощения мониторинга и управления сеть DWDM разделена на три уровня [13]. Сеть OTN моделируется как дополнительный уровень, который строится поверх топологии OpenROADM. Каждый уровень уникален и идентифицируется на основе атрибута Network-ID, имеет собственный набор узлов, а также точек сетевых окончаний (termination points) и соединительных линий (links). Узел в слое однозначно идентифицируется с помощью атрибута Node-ID, а в рамках всей сети – комбинацией идентификаторов сети Network-ID и идентификатора узла Node-ID.

Терминология, используемая в документах Open ROADM MSA:

- CLI-network, где CLI (COMMON LANGUAGE Location Identifier Code, код идентификатора местоположения) – это аббревиатура, предложенная Bell Labs и обозначающая идентификатор местоположения оборудования и его важных составляющих на сети. Идентификатор CLI-network содержит список всех узлов (или офисов), где может быть запланировано или уже развернуто оборудование OpenROADM, включая ROADM, транспондер/мукспондер или агрегатор и т. д. Точками окончаний для этого уровня могут быть ROADM, транспондеры или другое оборудование OpenROADM, расположенное в узле (офисе). Точки окончаний и соединительные линии могут быть дополнительно добавлены в слой идентификатора CLI [15];

- OpenROADM-network – к этому уровню можно отнести следующие типы узлов:
 - ▶ реконфигурируемые оптические узлы ввода/вывода оптических каналов (ROADM),
 - ▶ оптические транспондеры, мукспондеры или агрегаторы и uplinks (аплинки – это блоки с линейными интерфейсами в узлах с централизованной матрицей OTN кросс-коммутации),
 - ▶ сменные (pluggable) оптические модули-трансиверы.

На уровне управления оборудованием представлены информация о точках сетевых оконечаний (termination points) и соединительных линиях (links), производителях аппаратной платформы и программного обеспечения, а также график технического обслуживания, тип полки, модель, версия программного обеспечения и т. д.

Идентификатор Network-REF для этого уровня записывается как OpenROADM-network. Все сетевые элементы в пределах одного и того же номера CLLI (номер узла или офиса) будут указывать на один и тот же узел CLLI в CLLI-сети;

- OpenROADM-topology – уровень топологии, включающий дезагрегированное представление оборудования OpenROADM. С каждым узлом ROADM можно ассоциировать несколько направлений в соответствии с его коэффициентом связности и несколько групп устройств для ввода/вывода оптических каналов (длин волн). На сетевом уровне коэффициент связности узла ROADM определяется как количество внешних подключений этого узла, в том числе к другому ROADM, расположенному в соседнем узле сети, с целью ввода/вывода (терминирования) оптических каналов в данном узле или сквозного пропускания трафика на другие направления передачи с учетом коэффициента связности узла.

Каждая группа ввода/вывода оптических каналов снабжена несколькими парами портов для поддержки местного ввода/вывода трафика. В каждой паре портов имеется один порт передачи (Tx) или OUt и один порт приема (Rx) или IN.

Оборудование, которое подвержено одинаковому риску при возникновении аварийных ситуаций, считается общей группой риска SRG (Shared Risk Group). Количество SRG в группе ввода/вывода оптических каналов зависит от конфигурации оборудования данного производителя. Поскольку контроллеру Open ROADM требуется определенная

информация для выбора и назначения длины волны и выбора SRG для предоставления новой услуги, состав группы ввода/вывода оптических каналов может быть смоделирован на сетевом уровне, с тем чтобы он состоял из определенного производителем количества SRG.

Планирование направлений в соответствии с коэффициентом связности, а также групп ввода/вывода оптических каналов (длин волн) или SRG, как и их развертывание, может осуществляться для CD (colorless/directionless) ROADM или CDC (colorless – directionless – contentionless) ROADM отдельно и независимо.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Открытые решения для оптических транспортных сетей позволяют свести к минимуму зависимость оператора сети или провайдера телекоммуникационных услуг от одного поставщика АП и ПО/ОС. Тем самым снижаются риски, связанные с невыполнением поставщиками/производителями АП и ПО/ОС своих обязательств по поставкам для расширений и обеспечения технической поддержки на протяжении всего жизненного цикла сети. Кроме того, обеспечиваются ускоренное внедрение инноваций и снижение уровня затрат в расчете на бит передаваемых данных. Однако следует учитывать, что для достижения необходимого уровня "открытости" различными компонентами сетевой архитектуры должны поддерживаться предусмотренные международными рекомендациями открытые и стандартные программные интерфейсы приложений O-API.

Для систем OTN/DWDM это требование относится:

- к аппаратной платформе, включая:
 - ▶ открытые оптические транспондеры/мукспондеры O-OT и системы с централизованной OTN-матрицей кросс-коммутации трактов,
 - ▶ открытые оптические линейные системы O-OLS для систем с частичной дезагрегацией,
 - ▶ открытые промежуточные оптические усилители O-ILA (In-Line Amplifier), мультиплексоры/демультиплексоры оптических каналов O-MUX/DEMUX, реконфигурируемые оптические мультиплексоры ввода/вывода оптических каналов (OpenROADM) в составе O-OLS для систем с полной дезагрегацией,
 - ▶ использование устройств типа "белый ящик", адаптированных к ПО/ОС разных

производителей для систем с полной деагрегацией;

- к программному обеспечению/операционной системе, включая централизованную систему управления сетью (NOC), контроллеры SDN и оркестраторы разных производителей.

ЛИТЕРАТУРА

1. TIP OOPT MUST Optical. Whitepaper Target Architecture: Disaggregated Open Optical Networks, 16.07.2021. [Электронный ресурс]. URL: https://cdn.brandfolder.io/D8DI15S7/at/k53xb6fw8f7nrjnw4fvx4c8/TIP_OOPT_MUST_Optical_Whitepaper_Target_Architecture_-_Disaggregated_Open_Optical_Networks__v10_-_GREENPUBLIC_ACCESS.pdf; <https://telecominfraproject.com/wp-content/uploads/TIP-Open-Optical-Final.pdf> (дата обращения 06.07.2023)
2. Ribbon, Application Notes. Apollo Open Optical Networking Fully and Partially Disaggregated Solutions. 2021. [Электронный ресурс]. URL: [https://learn.rbbn.com/hubfs/Corporate%20Marketing%20\(TOP%20LEVEL\)/Application%20Notes/AN%20Apollo%20Open%20Optical%20Networking.pdf](https://learn.rbbn.com/hubfs/Corporate%20Marketing%20(TOP%20LEVEL)/Application%20Notes/AN%20Apollo%20Open%20Optical%20Networking.pdf) (дата обращения 06.07.2023)
3. Light Reading. Optical Networking Symposium: Open Optical Networking and Disaggregation. 10.02.2022. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.ipinfusion.com/optical-networking-symposium-open-optical-networking-and-disaggregation/> (дата обращения 06.07.2023)
4. Проект TIP OOPT [Электронный ресурс]. URL: <https://telecominfraproject.com/oopt/> (дата обращения 06.07.2023)
5. Open Network Operating System (ONOS) for White Switch. [Электронный ресурс]. URL: <https://cloudswit.ch/blogs/what-is-white-box-switch/>; <https://oopt.telecominfraproject.com> (дата обращения 07.07.2023)
6. IP Infusion Supports Edgework Networks' Whitebox "Cassini" Packet Transponder contributed to the Telecom Infra Project. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.ipinfusion.com/news-events/ip-infusion-supports-edgework-networks-whitebox-cassini-packet-transponder-contributed-to-the-telecom-infra-project/> (дата обращения 08.07.2023)
7. NEC deploys Telecom Infra Project's (TIP) Phoenix Open and Disaggregated Optical Whitebox Transponder in South Africa. [Электронный ресурс]. URL: https://www.nec.com/en/press/202210/global_20221031_02.html (дата обращения 07.07.2023)
8. Hideki Nishizawa, Wataru Ishida, Yoshiaki Sone, Takafumi Tanaka, Seiki Kuwabara, Tetsuro Inui, Takeo Sasai, AND Masahito Tomizawa. Open whitebox architecture for smart integration of optical networking and data center technology. Journal of Optical Communications and Networking, Vol. 13, No. 1 (January 2021). [Электронный ресурс]. URL: <https://ieeexplore.ieee.org/document/9275288> (дата обращения 08.07.2023)
9. Telecom Infra Project intros Voyager white box open packet DWDM transponder. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.lightwaveonline.com/optical-tech/transport/article/16654294/telecom-infra-project-intros-voyager-white-box-open-packet-dwdm-transponder> (дата обращения 09.07.2023)
10. ONF: Open Network Operating System (ONOS). [Электронный ресурс]. URL: <https://opennetworking.org/onos/> (дата обращения 08.07.2023)
11. ONOS E-CORD Proof of Concept Demonstrates Open Disaggregated ROADM. Use case. Fujitsu collaborates with industry partners on next-generation central office architecture. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.fujitsu.com/ca/en/Images/ONOS-E-CORD-use-case.pdf> (дата обращения 08.07.2023)
12. ONF is excited to announce a collaboration between our Open Disaggregated Transport Network(ODTN) project and the Telecom Infra Project (TIP's) Open Optical & Packet Transport (OOPT) group. [Электронный ресурс]. URL: <https://opennetworking.org/news-and-events/blog/onf-and-tip-collaborating-on-open-optical-transport-solutions/> (дата обращения 08.07.2023)
13. OpenROADM Network Model Version 7.1.0 December 16, 2020. [Электронный ресурс]. URL: https://0201.nccdn.net/4_2/000/000/081/4ce/open-roadm-network-model-whitepaper-v7.1-v2.1-published-.pdf (дата обращения 08.07.2023)
14. O-RAN alliance. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.o-ran.org> (дата обращения 08.07.2023)
15. COMMON LANGUAGE® Location Codes (CLLI™ Codes) Description for Location Identification, Telcordia Technologies Practice BR-795-100-100 Issue 28, May 2010. [Электронный ресурс]. URL: http://etler.com/docs/bsp-archive/795/795-100-100_128.pdf (дата обращения 08.07.2023)



ИЗДАТЕЛЬСТВО «ТЕХНОСФЕРА» ПРЕДСТАВЛЯЕТ КНИГУ:



В.О. Тихвинский,
С.В. Терентьев,
В.А. Коваль,
Е.Е. Девяткин

Развитие сетей мобильной связи от 5G Advanced к 6G: проекты, технологии, архитектура

Москва: ТЕХНОСФЕРА, 2023. – 528 с.
ISBN 978-5-94836-662-3

Цена 1960 руб.

В книге рассмотрены перспективы эволюционного развития и стандартизации технологий мобильной связи пятого поколения 5G Advanced/IMT-2020 на пути к 6G/IMT-2030 международными организациями связи, представлены планы развития технологий 5G Advanced партнерским проектом 3GPP в релизах 17 и 18, проанализированы основные бизнес-модели услуг и промышленные приложения в сетях 5G Advanced/IMT-2020, рассмотрены цепочки создания стоимости услуг 5G. Проведена оценка возможностей выделения частотных диапазонов для развития сетей 5G и 6G с учетом повестки дня ВКР-23, рассмотрены особенности построения и архитектура сети радиодоступа 5G RAN фазы 3 (релиз 17), виды сигналов, нумерология их формирования и частотные каналы, используемые в сетях радиодоступа 5G Advanced.

Показаны будущие изменения сценариев архитектуры и функций базовой сети 5G Core, технологии программно определяемых сетей SDN сети 5G и технологии виртуализации сетевых функций NFV, реализуемые в базовой сети 5G Core для управления и оркестрирования. Приведены технические и ЭМС-характеристики радиооборудования (базового и абонентского) сети радиодоступа 5G RAN для новой фазы эволюции технологий 5G Advanced. Рассмотрены вопросы построения сети синхронизации в 5G Advanced.

Рассмотрены возможности построения фрагмента сетей 5G и 6G на спутниках и высокоподнятых летающих платформах HAPS, железнодорожной сети FRMCS на базе 5G Advanced, их архитектура, использование алгоритмов и технологий искусственного интеллекта в сетевых элементах 5G Advanced.

Представлено видение и будущий облик мобильной связи поколения 6G/IMT-2030, его ключевые услуги, перспективы освоения 6G терагерцевого диапазона волн в интересах внедрения голографической связи, виртуальной реальности, человекоцентричных приложений и Интернета вещей.

Для специалистов, студентов и магистрантов инфокоммуникационных специальностей университетов.

Как заказать наши книги?

По почте: 125319, Москва, а/я 91
По факсу: (495) 956-33-46
E-mail: knigi@technosphera.ru
sales@technosphera.ru

ИНФОРМАЦИЯ О НОВИНКАХ
www.technosphera.ru