

# СЕТИ 5G: ЭВОЛЮЦИЯ К ОТКРЫТЫМ ОПТОВОЛОКОННЫМ ОПТИЧЕСКИМ ТРАНСПОРТНЫМ СЕТЯМ

*Часть 1. Полностью или частично дезагрегированные открытые оптические транспортные решения*

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

УДК 621.391, DOI: 10.22184/2070-8963.2023.113.5.56.66

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**

До последнего времени оптоволоконные оптические транспортные сети, в том числе строящиеся с использованием технологий OTN/DWDM, были ориентированы в основном на применение оборудования от одного производителя и передачу больших объемов трафика.

Создание операторских бизнес-процессов для аппаратной платформы – один из существенных факторов, повышающих затраты на обслуживание и эксплуатацию. По этой и другим причинам ведущие провайдеры телекоммуникационных услуг и операторы сетей все в большей степени заинтересованы в оснащении

оптоволоконных транспортных сетей / волоконно-оптических систем передачи (ВОСП) открытыми и дезагрегированными решениями. Благодаря этому появляется возможность использовать на одной сети оборудование ВОСП от нескольких производителей.

Такие решения нацелены на создание гибкой сетевой инфраструктуры, снижение зависимости от производителей конкретных видов оборудования, а также на оперативное и высоконадежное предоставление провайдерам услуг сетевых ресурсов в нужное время и в требуемом объеме.

Для оптических транспортных сетей, связанных с облачными сервисами, интернетом

и мобильными устройствами, а также нацеленных на внедрение новейших технологий, неизбежен переход к открытой сетевой архитектуре, в которой разные спецификации, протоколы и интерфейсы становятся общедоступными.

### ИЗМЕНЕНИЕ ТРЕБОВАНИЙ К ОПТИЧЕСКИМ ТРАНСПОРТНЫМ СЕТЯМ ПО МЕРЕ РАЗВИТИЯ ОБЛАЧНОЙ СЕТЕВОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ

Передаваемый поверх операторских оптических транспортных сетей трафик является преимущественно суммой трафика многих пользователей, притом что требуемая для каждого из них пропускная способность невелика. Поэтому влияние изменений в данных сервисных потоках на общий сетевой трафик незначительно. Поскольку потребность в гибких изменениях для оптических транспортных сетей оставалась невысокой, оптические сети строились и развивались планомерно и предсказуемо.

Но ситуация стала изменяться по мере расширения географического распределения и областей применения оптических транспортных сетей. В настоящее время огромные объемы данных (Big Data) собираются от пользователей, анализируются на серверах в режиме реального времени и результаты их обработки передаются обратно пользователям различными способами. Трафик между ЦОДами (центрами хранения и обработки данных), используемый для запуска программных приложений на облачной инфраструктуре и репликации (копирования) данных, увеличивается, а пропускная способность, необходимая для каждой транзакции, не только повышается, но и может динамически меняться в зависимости от объемов поступающих в течение суток запросов на те или иные услуги.

Следует отметить следующие особенности современных ВОСП:

- пакетно-ориентированный клиентский трафик (Ethernet, FC, InfiniBand и т. п.) преобладает над трафиком ВРК/TDM (PDH & SDH);
- эволюция от сетевых конфигураций типа "точка - точка" (P2P) к паутиной (Mesh) сетевой инфраструктуре на городских (Metro), зонавых (Regional) и магистральных сетях большой протяженности (Backbone, Long-haul);
- рост количества применяемых на сети многосвязных фотонных узлов типа MD ROADМ (Multi-Degree Reconfigurable Optical Add/Drop Multiplexer) для кросс-коммутации и ввода/вывода оптических каналов (длин волн) OTUk/OTUCn в узлах сети;

- увеличение числа применяемых на сети электрических узлов с централизованной OTN матрицей для кросс-коммутации трактов ODUk и ввода/вывода клиентских сигналов в узлах сети;
- переход от гибридных решений DWDM с комбинацией в оптическом линейном тракте OLS (Optical Line System) оптических каналов 10/100 G к решениям с использованием исключительно когерентных оптических каналов 100, 200, 400, 600, 800 G и т. п., то есть 100 G и более (B100 G);
- использование функциональности защитного переключения PS (Protection Switching) соединений на фотонном (L0) и/или электрическом (L1) уровнях для предохранения от однократных отказов на сети (например, при обрыве оптоволокна на участках сети);
- использование функциональности ASON/GMPLS с динамическим восстановлением (restoration) соединений на фотонном (L0) и/или электрическом (L1) уровнях для предохранения от многократных отказов на сети (например, при многократных обрывах оптоволокна на участках сети) и т. п.

### ПРЕИМУЩЕСТВА ОТКРЫТЫХ РЕШЕНИЙ ДЛЯ ОПТИЧЕСКИХ ТРАНСПОРТНЫХ СЕТЕЙ

В отличие от традиционной закрытой сети на основе оборудования одного поставщика, в открытой среде с аппаратной платформой (АП) и программным обеспечением / операционной системой (ПО/ОС), полученными от разных производителей, необходимо решать не только вопросы выбора и объединения продуктов, отвечающих требованиям обеспечения взаимосвязи, качества и производительности, но и задачи управления уязвимостями и ошибками при обслуживании каждого продукта и сети в целом.

К преимуществам открытых сетевых решений следует отнести вертикальную (разделение аппаратной платформы и программного обеспечения) и горизонтальную (функциональная декомпозиция узлов сети) дезагрегацию.

Дезагрегация позволяет использовать доступные готовые коммерческие решения для сетевого оборудования и хранилищ данных. Функциональное разделение самой АП (декомпозиция), а также АП от ПО/ОС дает заказчикам большую свободу выбора различных АП и ее составных функциональных частей, повышает уровень конкуренции между производителями АП и ПО/ОС, способствует снижению капитальных затрат и, наконец, стимулирует инновации, поскольку каждый сетевой и функциональный

уровень можно развивать и совершенствовать независимо от других уровней.

Параллельно с процессами функционального разделения АП (декомпозиция), а также отделения АП от ПО/ОС развиваются программно-определяемые сетевые решения SDN (software-defined networking). Концепция SDN предполагает разделение функций по непосредственной передаче трафика (Data Plane) и функций контроля и управления (Control Plane) сетью с выносом последних из сетевых устройств и централизацией в контроллере SDN. Поскольку значительную часть функций, которые ранее должен был выполнять традиционный сетевой узел, в этом случае реализует внешний контроллер, операционную систему сетевого узла системы OTN/DWDM можно значительно упростить и свести к уровню агента OpenFlow.

Для обеспечения независимости выбранных сетевых решений от конкретного производителя АП и ПО/ОС потребуется переход к общему интерфейсу для контроля, эксплуатации и обслуживания сетевых элементов, изготовленных разными производителями. А для этого необходимо определить функции сетевых элементов оптической сети и стандартизировать открытые интерфейсы управления каждым из них.

Открытые решения для ВОСП нацелены:

- на сведение к минимуму зависимости от одного поставщика, что позволит на протяжении всего жизненного цикла сети ускорить внедрение инноваций, снижающих уровень затрат в расчете на бит передаваемых данных;
- оптимизацию и дифференциацию решений для оптической сети с возможностью выбора наилучших из множества доступных продуктов и технологий для каждого сетевого уровня и сетевого домена;
- обеспечение большей устойчивости оптических сетей к рискам стихийных бедствий и зависимости от конкретных производителей/поставщиков, например, к проблемам, связанным со стоимостными показателями и/или возникающим вследствие отказа производителя от принятых на себя обязательств и угрозы прекращения поставок оборудования;
- переход к внедрению стандартизированных бизнес-процессов, определенных для открытых сетей;
- ускорение внедрения инноваций благодаря разделению сетевых функций, что позволяет обновлять каждую функцию в характерном для нее собственном темпе;

- внедрение компактных решений с использованием сменных аппаратных модулей в аппаратной платформе, программных контейнеров и микросервисов в программном обеспечении;
- использование открытых программных интерфейсов приложений API (Application Program Interface) и стандартизированных моделей данных YANG для упрощения процессов интеграции новых решений;
- улучшение характеристик эксплуатации и технического обслуживания благодаря автоматизации операций, в том числе связанных с предоставлением услуг и т. п.

## РЕШЕНИЯ ДЛЯ ОТКРЫТОЙ ОПТИЧЕСКОЙ ТРАНСПОРТНОЙ СЕТИ

Операторы Deutsche Telekom, MTN, Orange, Telefonica, Telia Company, TIM, Turkcell и Vodafone в рамках своей деятельности в рабочих группах OOPT (Open Optical & Packet Transport) и MUST (Mandatory Use Case Requirements for SDN transport) по проекту TIP (Telecom Infra Project) [1, 4, 7] опубликовали в 2021 году технический документ [1] по целевому уровню деагрегации, который может быть внедрен в существующие традиционные оптические транспортные системы, построенные на оборудовании одного производителя.

В соответствии с этим документом требуемый уровень открытости включает целевые открытые и стандартные программные интерфейсы приложений API, которые должны поддерживаться различными компонентами архитектуры, а именно открытыми оптическими транспондерами (O-OT, Open Optical Transponder), открытой оптической линейной системой (O-OLS, Open Optical Line System), включая промежуточные оптические усилители ILA (In-Line Amplifier), многосвязные реконфигурируемые оптические мультиплексоры ввода/вывода оптических каналов (ROADM), контроллеры SDN и т. п.

## Полностью агрегированная оптическая транспортная сеть

Пример традиционной, полностью агрегированной, оптической транспортной сети представлен на рис.1 [1]. Все оборудование ВОСП поставлено одним производителем и управляется с использованием частных интерфейсов производителя данного оборудования.

В документе [1] сформулированы два подхода к построению деагрегированных оптических сетей, основанных на интеграции сетевых элементов или

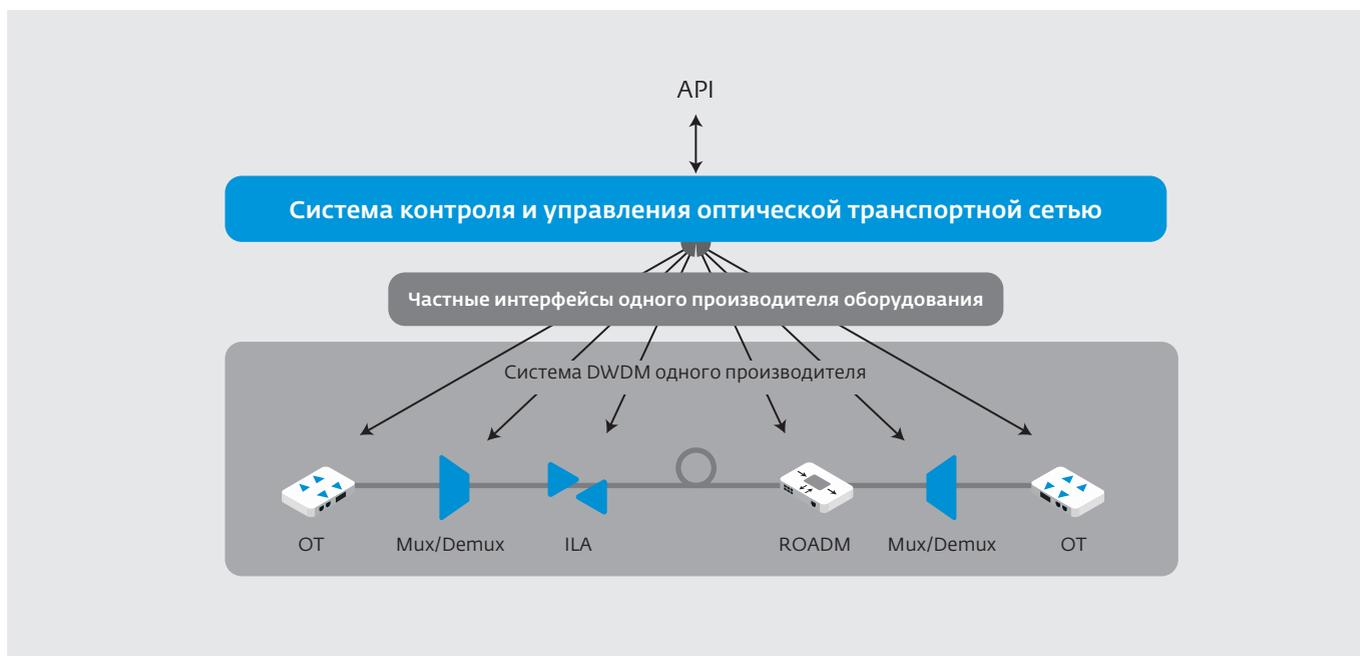


Рис.1. Полностью агрегированная открытая оптическая транспортная сеть (TIP)

подсистем с открытыми и стандартными интерфейсами, а именно полностью или частично дезагрегированные оптические транспортные системы (ВОСП).

### Открытые решения для оптической транспортной сети с частичной дезагрегацией

Частично дезагрегированная оптическая транспортная сеть включает, с одной стороны, оптические транспондеры/мукспондеры и/или системы с централизованной матрицей OTN кросс-коммутации, включая линейные блоки аплинки (uplinks), реализованные на оборудовании разных производителей, а с другой стороны, отделенные от них системы оптических линий (OLS) с сетевыми элементами одного производителя, которые управляются через частные или открытые стандартные интерфейсы.

Открытые решения для ВОСП с частичной дезагрегацией подразумевают использование:

- модульных аппаратных платформ с широким набором функций и гибкой программной архитектурой на основе микросервисов, нацеленных на минимизацию стоимости, занимаемой площади и потребляемой мощности;
- открытых О-ОТ (оптических оконечных устройств, например, транспондеров/мукспондеров) от разных производителей с возможностью перестройки на их линейных оптических интерфейсах центральной длины волны (частоты) и ширины спектра

оптического линейного сигнала (с учетом используемого формата модуляции и символической скорости), уровня выходной мощности оптического сигнала и т. п.;

- открытых оптических транспортных систем с централизованной матрицей OTN кросс-коммутации трактов от разных производителей с возможностью перестройки на линейных оптических интерфейсах блоков uplink центральной длины волны (частоты) и ширины спектра оптического линейного сигнала (с учетом используемого формата модуляции и символической скорости), уровня выходной мощности оптического сигнала и т. п.;
- открытых оптических линейных систем О-ОЛС, совместимых с разнообразными вариантами используемых внешних О-ОТ и открытых оптических транспортных систем с централизованной матрицей OTN кросс-коммутации трактов от сторонних производителей, позволяющих осуществлять мониторинг уровня оптической мощности каждого подключенного внешнего (Alien Wavelength) оптического канала (длины волны), а также использование программно-определяемых (SDN) алгоритмов и необходимого уровня гибкости управления оптическими каналами и оптической транспортной сетью в целом;

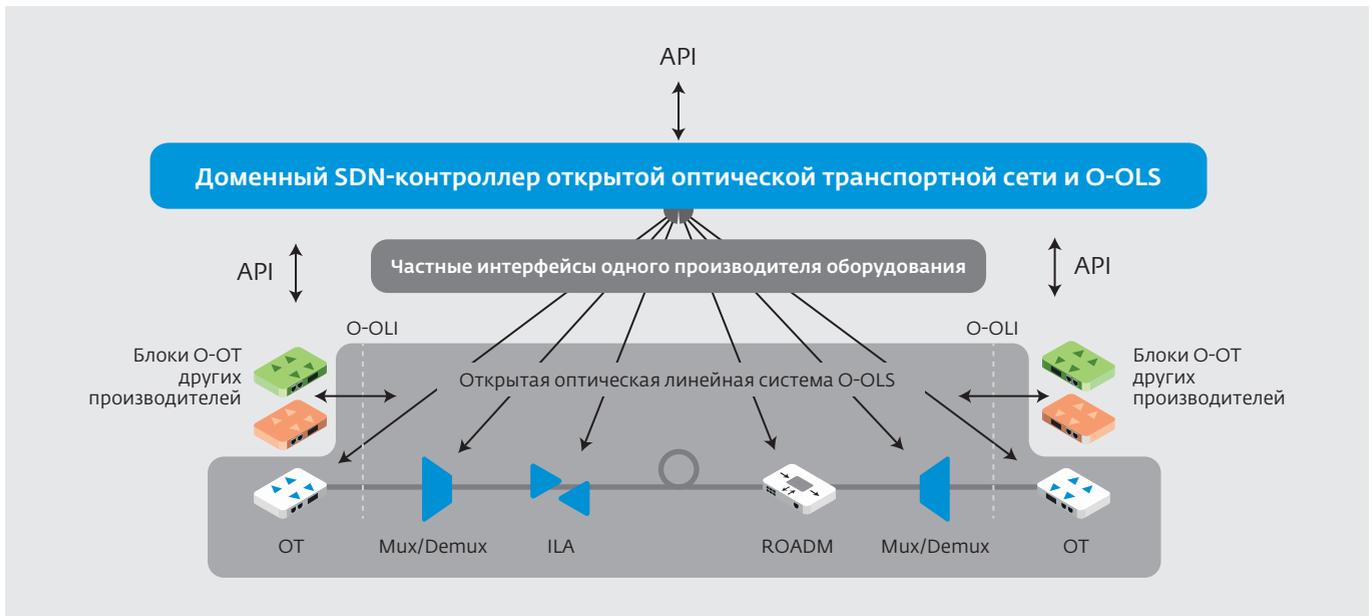


Рис.2. Частично дезагрегированная оптическая транспортная сеть (TIP)

- компактных сменных оптических модулей – трансиверов (приемо-передатчиков) различных производителей для клиентских интерфейсов (портов), а также сменных или встроенных оптических модулей – трансиверов для линейных интерфейсов (портов);
- открытых интерфейсов программных приложений API, протоколов NETCONF, RESTCONF и gRPC/gNM, а также моделей данных YANG, совместимых с функциональностью OpenRAN, OpenROADM и/или OpenConfig, поддерживаемой на компактных модульных аппаратных платформах.

Многие операторы сетей и производители оборудования связывают частично дезагрегированные решения для открытых оптических транспортных сетей с возможностью высокоскоростной передачи клиентских сигналов 100/200/400 GbE и выше без регенерации (ОЕО преобразования) по оптическим каналам поверх уже существующих оптических линейных систем OLS на малые, средние и/или большие расстояния. В рамках решения с частичной дезагрегацией оптической транспортной сети предусматриваются:

- подключения к OLS внешних оптических каналов Alien Wavelengths, формируемых оптическими маршрутизаторами и/или пакетными (Ethernet) коммутаторами либо оптическим транспортным оконечным оборудованием O-OT от разных производителей, для передачи в составе единого группового спектра

DWDM по существующим OLS (третьего производителя). Согласно Википедии, первое упоминание термина Alien Wavelength было зафиксировано в 2009 году. Однако, согласно Google Scholar, впервые это понятие появилось в 2004 году в статье OMNInet "A Metropolitan 10 Gb/s DWDM Photonic Switched Network Trial";

- подключения к OLS внешних оптических каналов Alien Wavelengths, формируемых оптическим транспортным оборудованием с централизованной матрицей OTN кросс-коммутации от разных производителей, которые в значительной мере расширяют возможности предоставления бизнес-услуг уровня L1 поверх OTN ODUk блоков данных, передаваемых в составе оптических каналов.

Как показано на рис.2 [1], частично дезагрегированная архитектура ВОСП разделена на сегменты O-OT и O-OLS. Сетевые элементы O-OT поставляются разными производителями и управляются с использованием API. Оборудование O-OLS имеет единую точку управления, и сетевые элементы O-OLS управляются с использованием частных интерфейсов производителя оборудования OLS (Vendor Proprietary Interfaces).

Контроллер домена Optical/O-OLS SDN (Optical / O-OLS domain controller) способен управлять сетевыми элементами O-OT сторонних производителей, включая обнаружение этих ресурсов, их обслуживание, эксплуатацию, мониторинг характеристик и отказов.

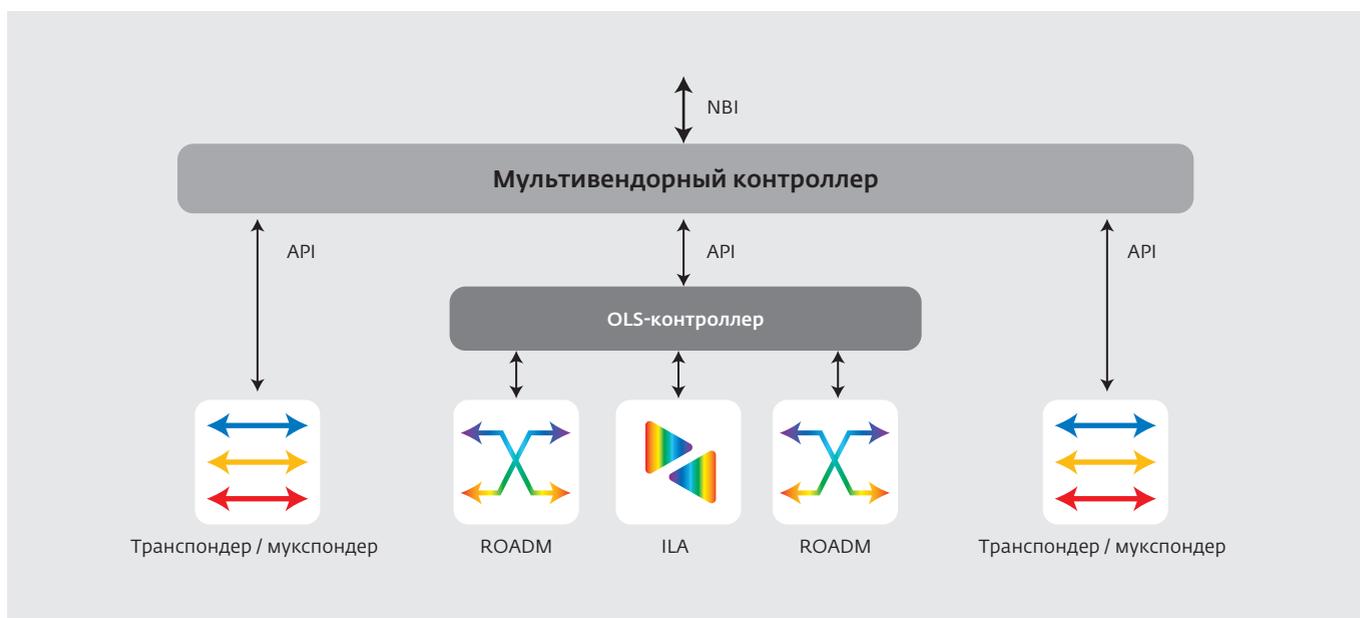


Рис.3. Пример частично дезагрегированной оптической транспортной сети (компании Ribbon)

Возможность сквозного программного управления всей сетью через северный интерфейс NBI – ключевой элемент данной концепции. При наличии иерархического контроллера SDN и с учетом двух сетевых уровней, а именно IP/MPLS и оптического транспортного, достигается более высокий уровень автоматизации процессов предоставления услуг и обслуживания. Ожидается, что по сравнению с полностью дезагрегированной системой для частично дезагрегированной характерно менее сложное управление, поскольку один поставщик отвечает за внедрение надежного решения и системную интеграцию всего линейного тракта O-OLS.

Пример частично дезагрегированных решений компании Ribbon для открытой оптической транспортной сети представлен на рис.3 [2].

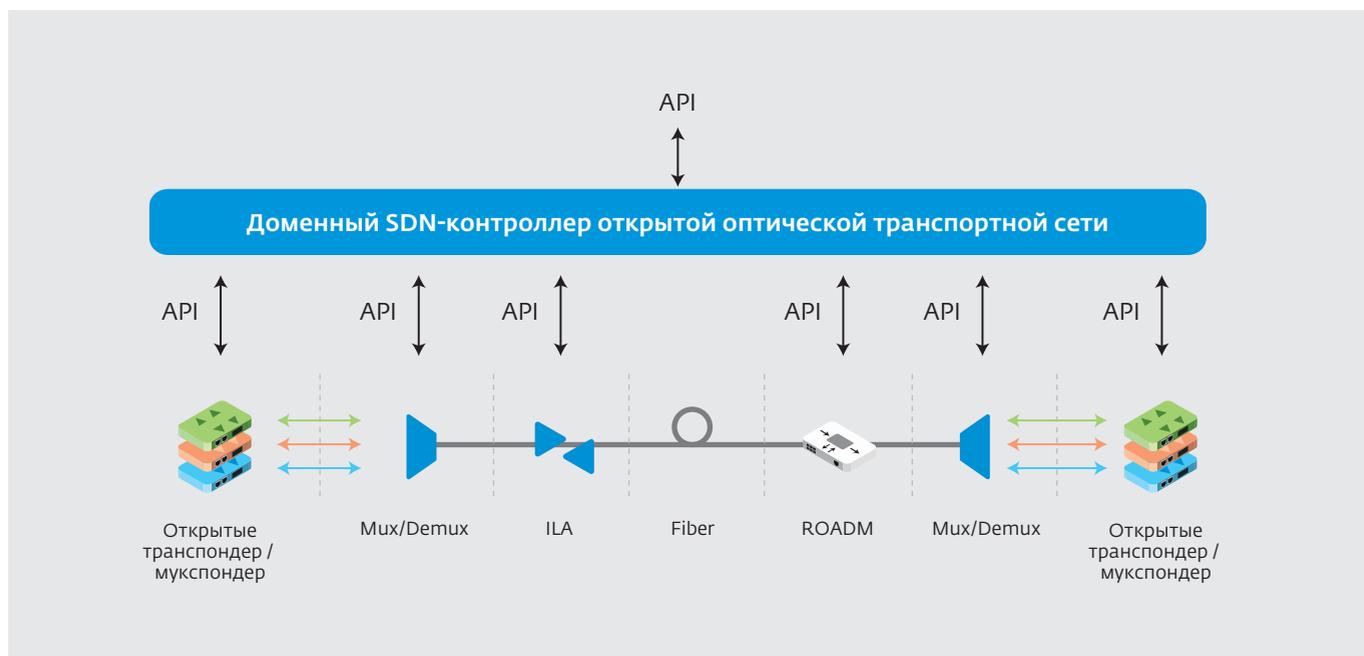
Оборудование Apollo компании Ribbon обеспечивает частично дезагрегированные решения за счет консолидации управления любым сочетанием элементов OTN Transport, OTN Switching и OLS с использованием для управления мультивендорного контроллера с открытыми интерфейсами Netsconf Open API. Отличие заключается в том, что в представленной на рис.3 схеме OT (то есть транспондеры/мультиплексоры разных производителей) управляются непосредственно через мультивендорный контроллер, а подсистема оптического линейного тракта OLS реализована на оборудовании одного производителя и управляется через частный OLS-контроллер.

Такое решение для ВОСП может обеспечить операторам сетей и провайдерам услуг следующие преимущества:

- оптимальное использование пропускной способности оптического канала (длины волны). Возможность более эффективного размещения сервисных потоков ODUk в оптических каналах OTUk и в некоторых случаях – снижение количества необходимых для предоставления услуг оптических каналов;
- оперативное предоставление услуг на уровне L1 (OTN) с возможностью подключения клиентского сигнала к линейному интерфейсу по схеме Point-and-click;
- гарантия предоставления услуг с возможностью динамического восстановления (restoration) соединений на уровне L1 (ODUk OTN), в том числе услуг с использованием функциональности ASON/GMPLS при многократных отказах на сети с ячеистой инфраструктурой и многосвязными узлами (например, защита от многократных обрывов оптоволокна на участках сети).

#### Открытые решения для оптической транспортной сети с полной дезагрегацией

В полностью дезагрегированной архитектуре (рис.4) контроллер SDN управляет через API каждым отдельным элементом сети, включая O-OLS и все типы сетевых элементов, принадлежащих оптическому линейному тракту O-OLS, в том числе ILA, Мух/



**Рис.4.** Полностью дезагрегированная оптическая транспортная сеть (ТИР)

Demux (FOADM) и ROADM [1]. Полностью дезагрегированная архитектура O-OLS:

- исключает зависимость операторов сетей и поставщиков услуг от конкретных производителей тех или иных сетевых элементов OLS;
- позволяет использовать лучшие в своем классе компоненты от различных производителей и поставщиков;
- кроме того, все сетевые элементы открытой оптической транспортной сети управляются с использованием API.

При переходе к полностью дезагрегированной архитектуре организация, которая берет на себя ответственность за системную интеграцию дезагрегированного оптического линейного тракта O-OLS, должна обеспечить полное проектирование такой системы, включая управление уровнями оптической мощности в контрольных точках сети и тестирование интегрированных решений.

Пример открытого и полностью дезагрегированного решения компании Ribbon для оптической транспортной сети представлен на рис.5 [2]. В этом случае каждый сетевой элемент, в том числе из состава OLS, управляется через собственный открытый и стандартный интерфейс API, а интеграция сетевых элементов разных производителей осуществляется мультивендорным контроллером.

В решениях компании Ribbon поддерживаются как частично, так и полностью дезагрегированные оптические транспортные сети (рис.6) [2]:

- частично дезагрегированные решения реализуются благодаря консолидации управления любым сочетанием элементов OTN Transport, OTN Switching и целиком OLS с помощью Ribbon Muse оркестратора сетевого домена (Ribbon Muse Domain Orchestrator), то есть оптического контроллера сетевого домена, которым можно управлять через интерфейс Restconf с использованием открытых стандартных API. MUSE (Modular suite of applications, модульный набор приложений) позволяет максимально эффективно использовать оптическую транспортную сеть, построенную на оборудовании Ribbon, быстро создавать и запускать новые услуги (сервисы) службы. MUSE обеспечивает контроль и управление программируемой сетевой инфраструктурой в режиме реального времени, автоматизирует предоставление пользователям доступа только к нужным им приложениям;
- полностью дезагрегированные решения реализуются со стандартными API Netconf интерфейсами управления для каждого сетевого элемента оптической транспортной сети.



# 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@technosfera.ru](mailto:knigi@technosfera.ru)  
[sales@technosfera.ru](mailto:sales@technosfera.ru)

ИНФОРМАЦИЯ О НОВИНКАХ  
[www.technosfera.ru](http://www.technosfera.ru)

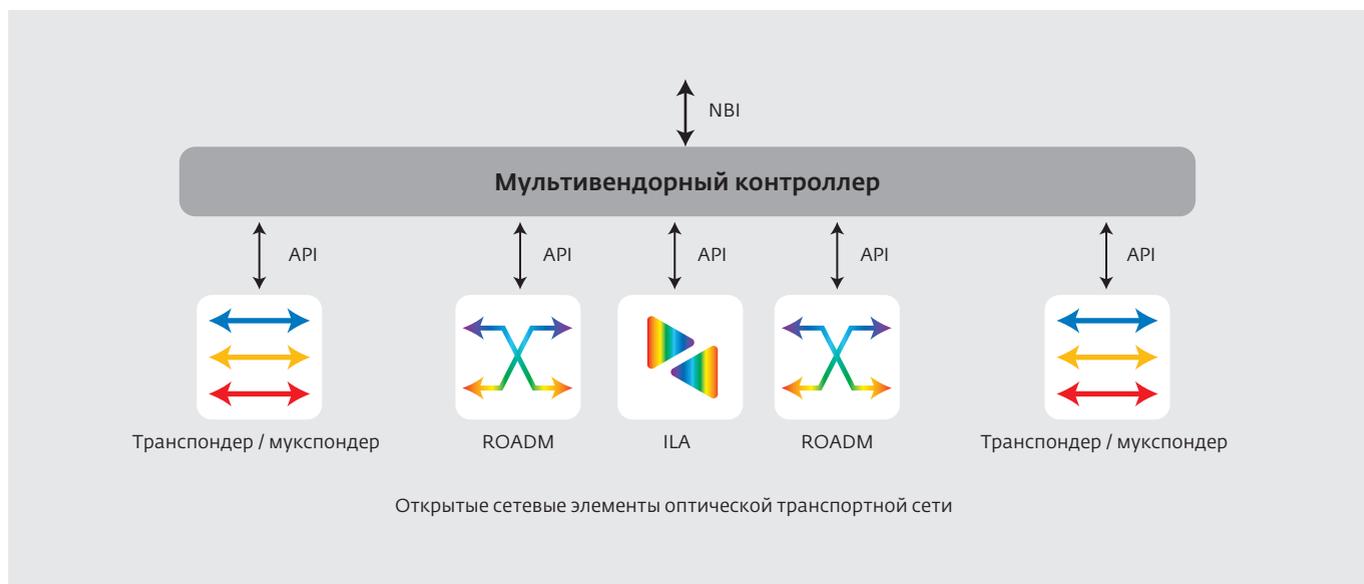


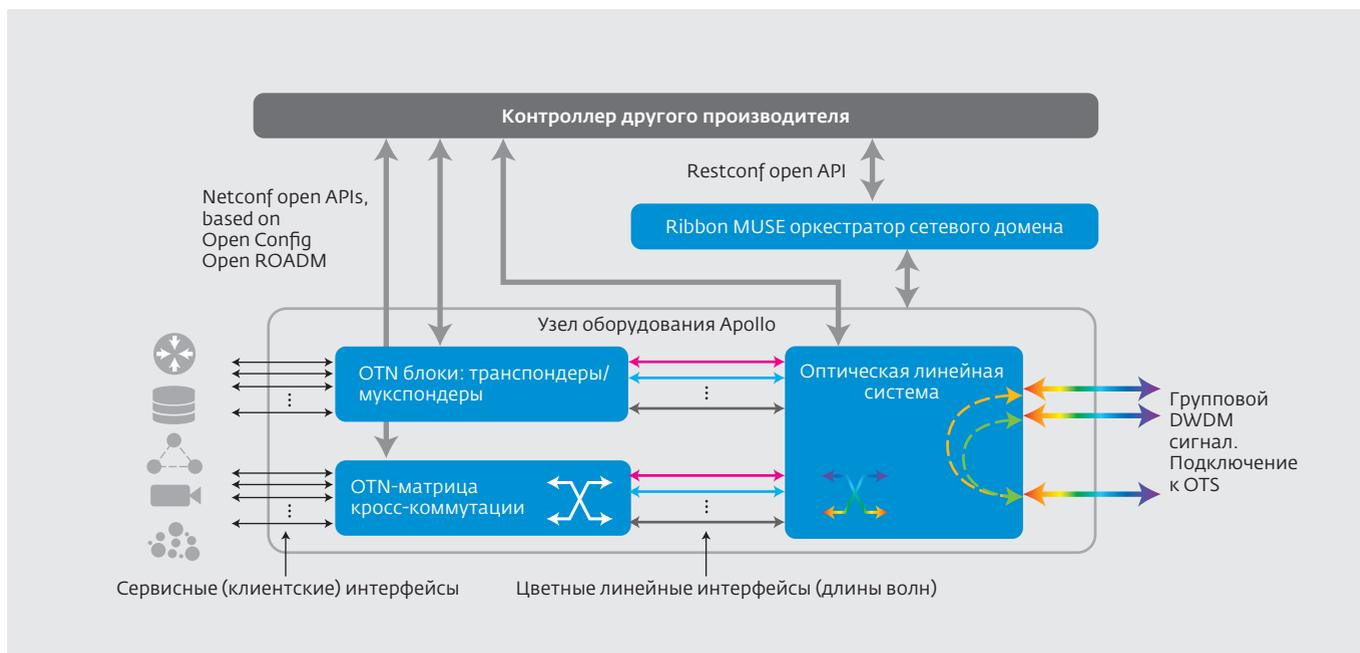
Рис.5. Пример полностью дезагрегированной оптической транспортной сети (компании Ribbon)

## ПРАКТИЧЕСКИЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ЭВОЛЮЦИИ К ОТКРЫТЫМ ОПТИЧЕСКИМ ТРАНСПОРТНЫМ СЕТЯМ

К настоящему времени получены следующие существенные практические результаты проработки вопросов эволюции к открытым оптическим транспортным сетям [3]:

1. Открытые оптические транспонеры/мукспондеры O-OT (Open Optical Transponder/Muxponder) систем OTN/DWDN в аппаратном исполнении White box:
  - обеспечена независимость (disaggregation) системы управления NOS (Network Operation Center) от управляемых ею аппаратных средств;
  - по проекту TIP созданы следующие блоки типа White box: Cassini/Phoenix/Galileo/Voyager;
  - предложена платформа ONF ONOS (Open Network Operating System) [5, 10].
2. Открытые оптические линейные системы O-OLS (Open Optical Line System):
  - частичная дезагрегация (partial disaggregation) с отделением O-OT от O-OLS;
  - ведутся работы по проекту ONF ODTN (Open Disaggregated Transport Network);
  - выполняются работы по соглашению OpenROADM MSA;
  - осуществляется проверка открытых решений на сетях Google, Facebook, Microsoft и т. д.
3. Сменные когерентные линейные оптические модули-трансиверы (coherent pluggable optics):

- разработаны оптимизированные по параметрам стоимости и энергопотребления сменные линейные когерентные оптические модули-трансиверы OIF 400ZR, OpenZR+ MSA и Open ROADM MSA:
  - ▶ OIF 400ZR – линейный интерфейс, ориентированный на технологию Ethernet, стандартизованный OIF для передачи пакетных данных Ethernet со скоростью 400 Гбит/с (coherent pluggable transceiver) по оптическому каналу (длине волны) системы DWDM для сетевых конфигураций типа "точка – точка" (point-to-point, без ROADM) с форматом модуляции DP-16QAM и исправлением ошибок SD FEC (сFEC, concatenated FEC). Реализован в сменном модуле-ресивере QSFP-DD/OSFP, дальность связи – до 80–120 км;
  - ▶ OpenZR+ MSA (100G, 200G, 300G, 400G coherent pluggable transceiver) – линейный интерфейс, ориентированный на технологию Ethernet, стандартизованный MSA для передачи пакетных данных Ethernet со скоростью 100G/200G/300G/400G (coherent pluggable transceiver) по оптическому каналу (длине волны) системы DWDM для сетевых конфигураций типа "точка – точка" (point-to-point, без ROADM) с форматами модуляции 16QAM (400G), 8QAM (300G), QPSK (200G), QPSK (100G) и исправлением ошибок SD-FEC (Open



**Рис.6.** Функциональная схема частично или полностью дезагрегированной оптической транспортной сети (компания Ribbon)

FEC). Реализован в сменном модуле-ресивере QSFP-DD/OSFP, дальность связи для 400G – до 500 км;

- ▶ Open ROADM MSA (100-400GbE и 100-400G OTN) – линейный интерфейс (coherent pluggable transceiver), ориентированный на технологии Ethernet и OTN для передачи данных со скоростью от 100 до 400 Гбит/с (Ethernet или OTN) по оптическому каналу (длине волны) системы DWDM для ячеистых (Mesh) сетевых конфигураций операторского класса с несколькими (тремя-четырьмя) узлами ROADM между оптическими участками OTS (Multi-span ROADM), в том числе на OTN METRO сетях, с исправлением ошибок SD-FEC (Open FEC). Реализован в сменном модуле-ресивере CFP2 и т. п., дальность связи для 400G – до 500 км;
- рабочая группа Open XR Forum MSA трудится над решениями со сменными линейными когерентными оптическими модулями-трансиверами для реализации сетевой топологии типа "точка – много точек" (point-to-multipoint, coherent pluggable transceiver). Эти модули-трансиверы предназначены для установки на портах маршрутизаторов и пакетных коммутаторов, а также оптических транспондеров/мультиплексоров (O-OT) и аплинков (uplinks) узлов

с централизованной OTN-матрицей кросс-коммутации систем OTN/DWDM разных производителей.

4. Открытые интерфейсы для прикладных программных приложений Open APIs (Open Application Program Interfaces) и программно-определяемые решения SDN Control (Software-Defined Network Control) для управления сетью:
  - отделение (disaggregation) уровня контроля и управления сетью (Control plane) от уровня передачи данных по сети (Data plane) с использованием северных NBI (North Band Interfaces) и южных SBI (South Band Interfaces) API;
  - проект TIP MUST (Telecom Infra Project Mandatory Use Case Requirements for SDN for Transport);
  - проект TIP PSE (Telecom Infra Project Physical Simulation Environment);
  - проект TIP OOPT (Telecom Infra Project Open Optical Packet Transport) [4]. В проекте OOPT в настоящее время участвуют семь рабочих групп, занятых разными вопросами;
  - проект IETF ACTN (IETF Abstraction and Control of TE Networks, IETF RFC 8453). Начинаясь с подготовки архитектурного решения для управления транспортной сетью, но затем был расширен для решения задач транспортной инженерии (TE). Его цель – предоставить клиентам сетевого оператора (арендаторам) возможность запрашивать виртуальную

сеть, построенную поверх сети оператора, а затем управлять ею;

- проект ONF T-API (Transport-API) для управления сетевыми ресурсами на разных уровнях абстрактного представления транспортной сети. На транспортной сети, администрируемой, например, транспортным контроллером SDN с использованием T-API, можно выполнять следующие операции:
  - ▶ извлекать из сети информацию об оборудовании и топологии,
  - ▶ предоставить сетевым операторам возможность развертывать SDN-решения в открытой многоуровневой транспортной инфраструктуре с несколькими доменами и оборудованием от нескольких производителей.

## ЛИТЕРАТУРА

1. TIP ООПТ MUST Optical. Whitepaper Target Architecture: Disaggregated Open Optical Networks, 16.07.2021. URL: [https://cdn.brandfolder.io/D8DI15S7/at/k53xb6fw8f7nrjnw4fvx4c8/TIP\\_OOPT\\_MUST\\_Optical\\_Whitepaper\\_Target\\_Architecture\\_-\\_Disaggregated\\_Open\\_Optical\\_Networks\\_v10\\_-\\_GREENPUBLIC\\_ACCESS.pdf](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. 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. URL: <https://www.ipinfusion.com/optical-networking-symposium-open-optical-networking-and-disaggregation/> (дата обращения 06.07.2023).
4. Проект TIP ООПТ URL: <https://telecominfraproject.com/oopt/> (дата обращения 06.07.2023).
5. Open Network Operating System (ONOS) for White Switch. 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. 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. URL: [https://www.nec.com/en/press/202210/global\\_20221031\\_02.html](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). URL: <https://ieeexplore.ieee.org/document/9275288> (дата обращения 08.07.2023).
9. Telecom Infra Project intros Voyager white box open packet DWDM transponder. 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). 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. 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. 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. URL: [https://0201.nccdn.net/4\\_2/000/000/081/4ce/open-roadm-network-model-whitepaper-v7.1-v2.1-published-.pdf](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. 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. URL: [http://etler.com/docs/bsp-archive/795/795-100-100\\_128.pdf](http://etler.com/docs/bsp-archive/795/795-100-100_128.pdf) (дата обращения 08.07.2023).

XXVII МЕЖДУНАРОДНАЯ ВЫСТАВКА

# INTERPOLITEX



СРЕДСТВА ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ ГОСУДАРСТВА

17—19 ОКТЯБРЯ 2023  
МОСКВА, ВДНХ, ПАВИЛЬОНЫ № 55, 57



INTERPOLITEX.RU