

# ПРЕДПОСЫЛКИ ИССЛЕДОВАНИЯ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ПРОГРАММНО-КОНФИГУРИРУЕМЫХ СЕТЕЙ И ВЫСОКОСКОРОСТНЫХ МАГИСТРАЛЬНЫХ DWDM СИСТЕМ

Э. М. Муратов<sup>1\*</sup>, Р. В. Киричек<sup>1</sup>, А. Е. Кучерявый<sup>1</sup>

<sup>1</sup> СПбГУТ, Санкт-Петербург, 193232, Российская Федерация

\* Адрес для переписки: elzar.muratov@yandex.ru

## Аннотация

**Предмет исследования.** В статье рассмотрена архитектура построения сетей связи, реализованная в настоящее время, а также делается обзор перспектив модернизации сетевых решений на базе внедрения программно-конфигурируемых сетей связи. Рассмотрена технология Wavelength Division Multiplexing (WDM), используемая для построения сетей транспортного уровня, технология Optical Transport Network (OTN) для оптических сетей и IP MPLS для сетей пакетной коммутации. Рассмотрена архитектура построения программно-конфигурируемых сетей, их особенности. Обозначен вектор трансформации технологии SDN к T-SDN. Выделены положительные синергетические преимущества от конвергенции программно-конфигурируемых сетей и высокоскоростных магистральных DWDM систем. Обозначена актуальность формирования моделей и методов взаимодействия программно-конфигурируемых сетей и высокоскоростных магистральных DWDM систем. **Метод.** Основным методом исследования взаимодействия программно-конфигурируемых сетей и высокоскоростных магистральных DWDM систем является натурный эксперимент. **Основные результаты.** В ходе написания статьи были разработаны прототипы модельной сети для исследования взаимодействия SDN-сетей и DWDM систем. **Практическая значимость.** Намечены перспективы развития учебно-исследовательской лаборатории в целях проведения натуральных экспериментов по исследованию взаимодействия магистральной DWDM сети и фрагмента программно-конфигурируемой сети связи. Целью проведения натуральных экспериментов является анализ, определение требований к сетям следующего поколения, а также разработка методов и моделей взаимодействия программно-конфигурируемых сетей и высокоскоростных магистральных DWDM сетей.

## Ключевые слова

DWDM, программно-конфигурируемые сети, интернет вещей, 5G, тактильный интернет, SDN.

## Информация о статье

УДК 004.738

Язык статьи – русский.

Поступила в редакцию 06.02.17, принята к печати 28.02.17.

**Ссылка для цитирования:** Муратов Э. М., Киричек Р. В., Кучерявый А. Е. Предпосылки исследования взаимодействия программно-конфигурируемых сетей и высокоскоростных магистральных DWDM систем // Информационные технологии и телекоммуникации. 2017. Том 5. № 1. С. 78–87.

# THE PREREQUISITES FOR RESEARCH THE INTERACTION OF SOFTWARE- CONFIGURABLE NETWORKS AND HIGH-SPEED BACKBONE DWDM SYSTEMS

E. Muratov<sup>1\*</sup>, R. Kirichek<sup>1</sup>, A. Koucheryavy<sup>1</sup>

<sup>1</sup> SPbSUT, St. Petersburg, 193232, Russian Federation

\* Corresponding author: elzar.muratov@yandex.ru

**Abstract—Research subject.** The article considers architecture of building communication networks, implemented at present, and also makes an overview of the prospects for the modernization network solutions based on the introduction of software-configurable communication networks. The technology of Wavelength Division Multiplexing (WDM), used for construction of transport network networks, Optical Transport Network (OTN) technology for optical networks and IP MPLS for packet switching networks is considered. The architecture of the construction of software-configurable networks, their features is considered. The vector of transformation of SDN technology to T-SDN is indicated. Positive synergetic advantages have been singled out from the convergence of software-configurable networks and high-speed backbone DWDM systems. The urgency of forming models and methods of interaction between software-configurable networks and high-speed backbone DWDM systems is indicated. **Method.** The main method of research the interaction of software-configurable networks and high-speed backbone DWDM systems is a full-scale experiment. **Core results.** During writing of article prototypes of a model network were developed for the research interaction of SDN networks and DWDM systems. **Practical relevance.** Perspectives of development educational and research laboratory are planned for the purpose of carrying out natural experiments on a research of interaction the backbone DWDM network and fragment of the software-configurable communication network. The purpose of conducting natural experiments is to analyze, determine the requirements for next-generation networks, and develop methods and models for the interaction of software-configurable networks and high-speed backbone DWDM networks.

**Keywords**—DWDM, software-configurable networks, Internet of Things, 5G, Tactile internet, SDN.

## Article info

Article in Russian.

Received 06.02.17, accepted 28.02.17.

**For citation:** Muratov E., Kirichek R., Koucheryavy A.: The Prerequisites for Research the Interaction of Software-Configurable Networks and High-Speed Backbone DWDM Systems // Telecom IT. 2017. Vol. 5. Iss. 1. pp. 78–87 (in Russian).

## Введение

По прогнозам ведущих международных вендоров к 2021 г. больше жителей нашей планеты будут пользоваться мобильными телефонами, чем банковскими счетами, централизованным водоснабжением, и проводной связью. Уверенный рост числа пользователей мобильной связи, смартфонов, мобильного видео, подключений Интернета вещей (*Internet of Things, IoT*), а также рост скоростей передачи данных и потребления мобильного видео в ближайшие пять лет приведут к семикратному увеличению мобильного трафика.

Структура глобального трафика в интернете меняется, утверждают крупнейшие сетевые операторы. Видео является основным потребителем емкости сетевых каналов, но меняется структура видео. Ранее большую часть трафика в глобальной сети генерировали пользователи, скачивающие видео в torrent-сетях, а теперь основным генератором трафика стало потоковое видео, генерируемое ресурсами вроде YouTube или системами видеоконференций и приложениями, когда пользователи общаются между собой по видеоканалам.

На данный момент в России принят курс на развитие промышленного Интернета и Интернета Вещей, что наложит на существующие сети новые условия формирования их архитектуры и подтолкнет к пересмотру взаимодействия элементов сети [1].

### **Архитектура построения сетей связи и обзор перспектив модернизации сетевых решений на базе программно-конфигурируемых сетей связи**

В настоящее время архитектура построения сетей связи и принципы взаимодействия разных уровней опираются на модель OSI. Однако в связи с появлением новых «переменных» и развития технологий нам необходимо пересмотреть модели взаимодействия, а конкретно в части взаимодействия транспортных сетей и сетей пакетной коммутации [2, 3].

Сейчас в транспортной сети преобладает технология волнового спектрального уплотнения (WDM), применяемая в волоконно-оптических линиях связи (ВОЛС). Оптическое волокно, потенциально, способно передавать огромное количество информации. Скорость передачи информации по одному каналу ограничена электроникой транспондеров, осуществляющих оптико-электрическое преобразование. Несмотря на постоянный рост канальной скорости передачи данных (на данный момент освоены и внедряются системы с канальной скоростью 100 Гбит/с), разрыв между канальной скоростью и потенциальной пропускной способностью волокна очень велик. Основным способом дальнейшего увеличения пропускной способности волокна – технология WDM (*Wavelength Division Multiplexing* – технология спектрального уплотнения), позволяющая организовать передачу по одному волокну нескольких практически независимых оптических каналов на разных длинах волн. Сущность метода иллюстрирует рис. 1. Каждая компонента с определенной длиной волны представляет собой отдельный оптический канал передачи информации со своим передатчиком и приемником. Добавление нового канала в линию связи сводится к введению новой компоненты светового пучка на не занятой длине волны и незначительно затрагивает работу уже существующих каналов передачи сигналов (если приняты меры для ослабления нелинейного взаимодействия каналов). Такая возможность объединения, передачи по волокну и последующего разделения каналов с разными длинами волн несущей основана на принципе суперпозиции волн в линейной оптике. Нелинейное взаимодействие волн может привести к появлению нежелательных перекрестных помех, и поэтому требуется принимать меры по ослаблению нелинейных эффектов в WDM-системах связи [4].

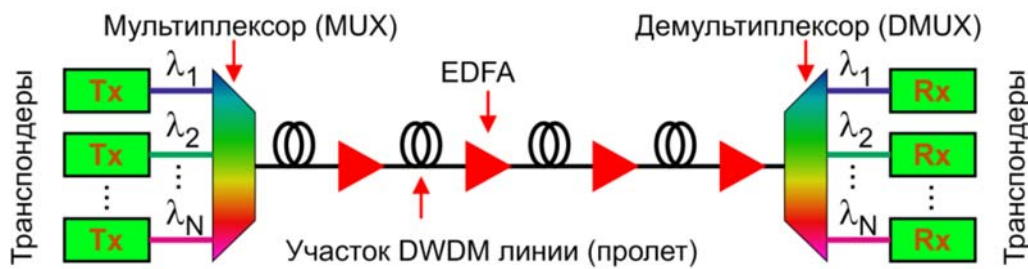


Рис. 1. Принципиальная схема WDM линии связи

Необходимость передачи по магистральным сетям скоростного трафика разных форматов (SDH, Ethernet/IP и др.) стала одной из основных предпосылок для разработки технологии OTN. Ее принцип (рис. 2) заключается в том, что сигналы различных форматов упаковываются в стандартные контейнеры, которые затем передаются по волоконно-оптической сети [5]. Таким образом, обеспечивается возможность передачи по транспортной сети любых необходимых типов клиентских сигналов, а также эффективное использование пропускной способности за счет плотной упаковки разнородного трафика.

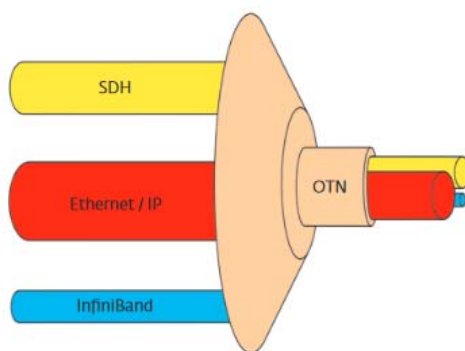


Рис. 2. Принцип технологии OTN

В сети пакетной коммутации операторов связи широко используются коммутаторы и маршрутизаторы с высокой канальной производительностью по емкости обработки и передачи трафика. На их основе строится ядро IP-сети и сети доступа для конечных пользователей. При этом каждый элемент IP-сети имеет свою политику безопасности и интеллектуального резервирования каналов в случае пропадания связи на основных путях следования пакетов от отправителя к получателю.

Для увеличения производительности и гибкости, поверх IP-сети была введена многопротокольная коммутация по меткам (MPLS). Сейчас данную технологию можно встретить в любом операторе связи. Технология позволяет создавать виртуальные каналы и объединять в себе необходимые для клиента виды трафика, будь то ATM, PDH или Ethernet и для этого нет необходимости строить отдельную сеть или выделять отдельный канал.

На рис. 3 показана конвергентная работа OTN и IP MPLS.

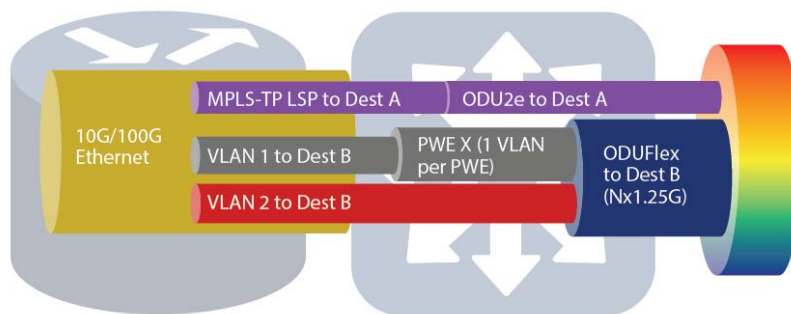


Рис. 3. Сеть пакетной коммутации в OTN

Все было хорошо до некоторого времени, однако рост числа потребителей интернета и технологий влечет за собой рост темпов развития сетей. Вместе с тем росло и количество вендоров присутствовавших в сетях пакетной коммутации, а, следовательно, на управление устройствами, пере- и реконфигурацию сети уходит большое количество времени и ресурсов. В связи с этим, для ухода от многовендорности, порождающей проблему с эксплуатацией большого количества разнотипного оборудования и повышения гибкости управления сетью, при появлении новых технологий, таких как IoT, 5G, сенсорные сети, тактильный интернет, требующих эффективного управления сетью, быстрой реконфигурации по запросу клиентов и малых задержек при передаче пакетов, появилась концепция создания и внедрения программно-конфигурируемых сетей (SDN), а в перспективе и транспортных программно-конфигурируемых сетей (T-SDN).

В типовой архитектуре программно-конфигурируемых сетей выделяют три уровня<sup>1</sup>:

- уровень управления (сетевая операционная система), которая обеспечивает приложениям интерфейс для управления сетевыми устройствами);
- уровень передачи данных/инфраструктуры (сетевые устройства);
- уровень сетевых приложений (приложения/скрипты, используемые для гибкого и эффективного управления сетью).

Центральным устройством программно-конфигурируемой сети является контроллер<sup>2</sup>. На него вынесена функция управления сетью. Этот факт позволяет значительно облегчить работу коммутаторов и маршрутизаторов, главной задачей которых теперь является передача пакетов с входного порта на выходной с максимальной скоростью, согласно инструкциям, поступающим от контроллера, который обеспечивает два основных направления обмена информацией, которые получили названия «северный мост» и «южный мост» [6].

Графическое отображение архитектуры ПКС и её основных элементов представлено на рис. 4.

«Северный мост» обеспечивает взаимодействие между приложениями и контроллером ПКС посредством протокола на основе REST API. Приложения реализуют программное управление контроллером ПКС и выполняют множество функций. Перечислим наиболее важные: с их помощью производится оптимиза-

<sup>1</sup> Контроллер для T-SDN. URL: <http://habrahabr.ru/company/netcracker/blog/276643>

<sup>2</sup> Open Networking Foundation SDN Architecture. URL: [http://www.opennetworking.org/images/stories/downloads/sdn-resources/technical-reports/TR\\_SDN\\_ARCH\\_1.0\\_06062014.pdf](http://www.opennetworking.org/images/stories/downloads/sdn-resources/technical-reports/TR_SDN_ARCH_1.0_06062014.pdf)

ция сети и поддержание её работоспособности, обеспечивается безопасность сети, повышается её производительность и доступность.

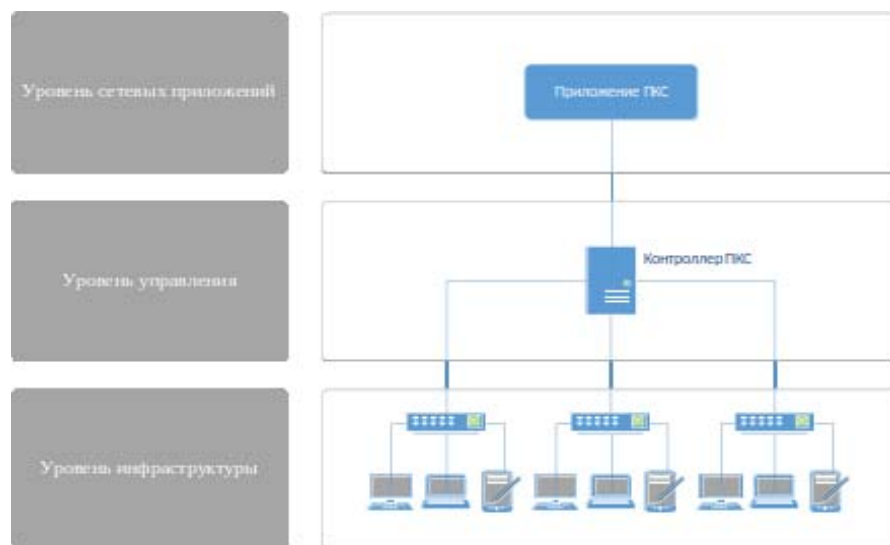


Рис. 4. Основные компоненты программно-конфигурируемой сети

«Южный мост» обеспечивает взаимодействие между контроллером ПКС и её сетевыми устройствами с помощью протокола OpenFlow, который является основой концепции программно-конфигурируемых сетей. В коммутаторе ПКС с поддержкой OpenFlow реализован только уровень передачи данных. Каждый коммутатор имеет свою уникальную таблицу потоков (*FlowTable*), которую он заполняет на основании информации, полученной от контроллера ПКС. С помощью таких таблиц пакеты классифицируются на основании номера порта, MAC-адреса, IP-адреса и других средств, и маршрут строится не для каждого передаваемого пакета, а для группы однотипных пакетов, называемой потоком. OpenFlow добавляется как функция для коммерческих коммутаторов Ethernet, маршрутизаторов и точек беспроводного и не требует от поставщиков раскрытия внутренней работы их сетевых устройств. В настоящее время стандарт уже внедрен многими крупными производителями.

ПКС – концепция сетей связи следующего поколения (NGN), основной идеей которой является разделение функций передачи данных и управления сетью. Весь интеллект сети вынесен на сетевое устройство, именуемое контроллером ПКС, который владеет информацией о сети в целом, ее топологии, структуре, что позволяет реализовать централизованный, программируемый уровень управления, а также упростить инфраструктуру плоскости передачи данных.

Основной идеей T-SDN, так же, как и в SDN, является разделение плоскости передачи данных и контрольной плоскости, которое реализуется через создание единого управляющего контроллера, взаимодействующего с сетевыми устройствами некоторого домена транспортной сети. Над контроллером находится уровень приложений, общающийся с контроллером по определенному интерфейсу. Благодаря тому, что контроллер знает все о структуре своего домена, появляются дополнительные возможности для улучшения работы сети. T-SDN может значительно улучшить уже существующие подходы [5], а именно:



- Упрощение операций по работе с транспортной сетью.

Предполагается, что получить сервис конечному клиенту от оператора/провайдера будет значительно легче, чем сейчас. Как только сделан запрос на необходимый сервис, контроллер переконфигурирует устройства сети и выделяет необходимые ресурсы. В итоге клиент получает сервис за считанные секунды/минуты.

- Оптимальное использование пропускной способности.

Предполагается оптимизация использования пропускной способности на всех уровнях сети. Задачу динамического распределения клиентских каналов в транспортной сети возьмет на себя контроллер. При этом естественно сеть должна обеспечивать стандарты QoS.

- Пропускная способность по запросу.

Автоматическое увеличение пропускной способности клиентского сервиса, если объем трафика превышает объем купленного им канала. Это позволит обеспечить работоспособность сети и сервиса во время пиковых нагрузок.

- Построение оптимальных маршрутов в транспортных сетях.

Централизованное управление сетью дает возможность оптимально подбирать маршрут для прокладки сервиса с учетом разнообразных метрик и требований.

- Высокий уровень надежности и доступности сервиса.

Автоматическое управление позволяет быстро реагировать на сбои в сети. Контроллер поддерживает любые способы защитного резервирования маршрута для быстрого восстановления сервиса при сбоях [7, 8].

- Легкость в масштабировании системы.

Увеличения числа устройств и управляющих приложений выполняется без дополнительных настроек контроллера.

Реализация конвергентной работы программно-конфигурируемых сетей и высокоскоростных магистральных DWDM систем позволит операторам связи постепенно и безболезненно перейти к новым реалиям построения и взаимодействия архитектуры сетей. Управляемость, эффективность и масштабируемость повысится, а издержки, появлявшиеся ранее для конечных пользователей в процессе эксплуатации сети, снизятся.

### **Модельная сеть лаборатории «Высокоскоростных магистральных DWDM систем и программируемых сетей»**

Внедрение в нашей жизни концепции Интернета Вещей, Промышленного Интернета, приложений, образующих социальные сети, Тактильного Интернета, диктуют новые требования к политике безопасности внутри сети. В связи с высоким проникновением технологий в различные стороны личной жизни человека, одним из условий для предоставления услуг частным клиентам, а в особенности заказчикам специального и военного назначения или банковской сфере, где особенно важна безопасность транзакций, является условие наличия доверенной сети.

Моделью такой доверенной сети является, организованная при поддержке компании ООО «Т8» в октябре 2015 года, на базе СПбГУТ лаборатория «Высокоскоростных магистральных DWDM систем и программируемых сетей».

В состав сетевого оборудования лаборатории DWDM систем в существующей конфигурации, для моделирования системы с технологией спектрального уплотнения вида «точка – точка», входят две стойки с оборудованием линейки «Волга», в которых находятся:

1. Шасси Волга формата V6 (6 unit) и V10 (10 unit).
2. Взаиморезервируемые блоки питания, обеспечивающие актуальные и прогнозируемые потребности системы при дальнейшем развитии лабораторного стенда.
3. Блоки управления, обеспечивающие служебную связь в системе с полосой 1 Гбит в сек.
4. Блоки сдвоенных транспондеров с линейными портами уровня OTU-2 (10,7 Гбит в сек.), возможностью резервирования и перестройкой лазера в С диапазоне.
5. Блоки агрегирующих транспондеров с линейными портами уровня OTU-1 (2,66 Гбит в сек.) и возможностью резервирования.
6. Блоки 40-канальных мультиплексоров и демультиплексоров с возможностью выравнивания спектра сигнала благодаря встроенным изменяемым канальным аттенюаторам.

Платформа «Волга» позволяет организовывать до 96 каналов по 100 Гбит/с в каждом канале. В открытой лаборатории студенты имеют возможность моделировать фрагменты магистральных сетей для исследований региональных и зонавых участков. Мощности лаборатории обеспечивают возможность организации учебного и научно-исследовательского процесса.

На рис. 5 представлена схема сети DWDM имеющаяся на данный момент. В последствии предполагается усложнение и наращивание сети благодаря взаимодействию оборудования различных производителей сетевого оборудования, а, следовательно, и увеличение пропускной способности DWDM системы.

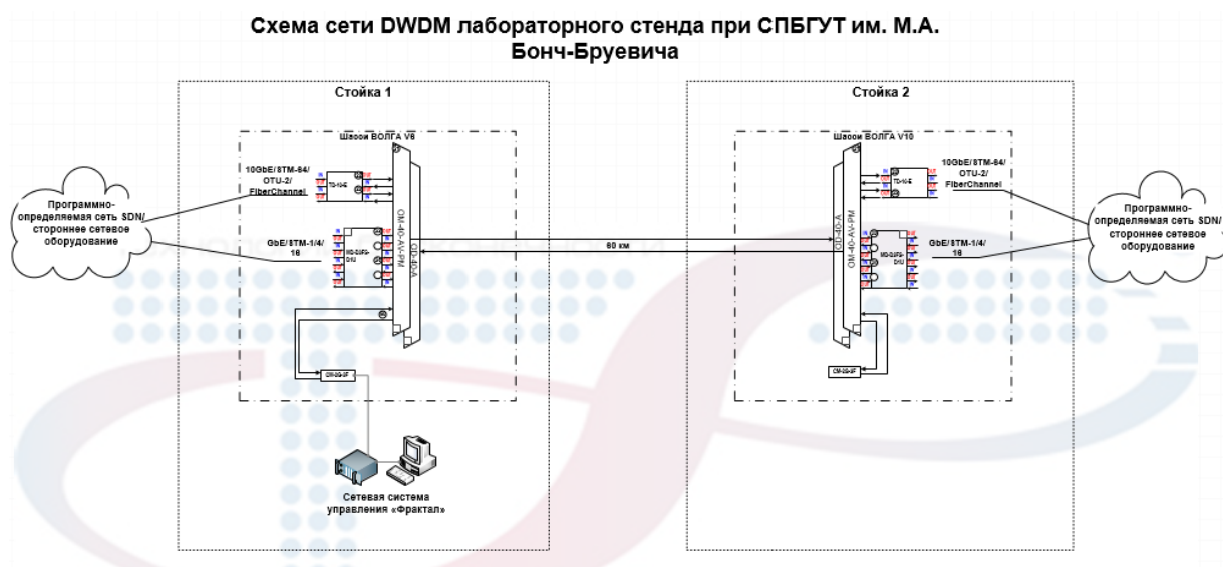


Рис. 5. Схема сети DWDM учебно-исследовательской лаборатории «Высокоскоростных магистральных DWDM систем и программируемых сетей», созданной при поддержке компании «Т8»



В целях проведения натуральных экспериментов по исследованию взаимодействия магистральной DWDM сети и фрагмента программно-конфигурируемой сети связи компанией Zelax весной 2017 года предполагается установка коммутаторов с поддержкой OpenFlow, а также контроллера собственной разработки, для моделирования доверенной программно-конфигурируемой сети (SDN). Данный контроллер как предполагается в дальнейшем сможет управлять централизованно как сетью пакетной коммутации, так и транспортной сетью.

### Заключение

Традиционная телекоммуникационная сеть представляет собой вертикальную и закрытую систему, в которой устройства, программное обеспечение для управления, приложения и услуги предоставляются множеством различных вендоров. В итоге предоставляемые сетью услуги зависят от присутствующего на сети различного оборудования вендоров и не могут адаптироваться к развитию Интернета или соответствовать требованиям пользователей в наше время.

Принцип конвергентной работы ПКС и высокоскоростных магистральных DWDM систем нарушает традиционную архитектуру и переопределяет требования на разных уровнях. Ресурсы сети должны объединиться наряду с реконструкцией сетевой архитектуры, что обеспечит более широкое сотрудничество и взаимовыгодную промышленную экосистему.

Технологии SDN становятся исследовательским центром отрасли и быстро распространяются на оптические сети. Они становятся ключевым направлением эволюции оптических сетей, а также повышают ценность и стимулируют работу оптической сети.

Целью проведения натуральных экспериментов является анализ, определение требований к сетям следующего поколения, а также разработка методов и моделей взаимодействия программно-конфигурируемых сетей и высокоскоростных магистральных DWDM сетей.

### Литература

1. Владыко А. Г., Киричек Р. В., Матвиенко Н. А. Тестирование контроллера SDN под воздействием трафика IoT // 71-я Всероссийская научно-техническая конференция, посвященная Дню Радио. 2016. С. 181–182.
2. Kirichek R., Vladyko A., Zakharov M., Koucheryavy A. Model Networks for Internet of Things and SDN // 18th International Conference on Advanced Communication Technology (ICACT). 2016. С. 76–79.
3. Киричек Р. В., Владыко А. Г., Захаров М. В., Кучерявый А. Е. Модельные сети для Интернета Вещей и Программируемых Сетей // Информационные технологии и телекоммуникации. 2015. № 3 (11). С. 17–26. URL: <http://www.sut.ru/doci/nauka/review/3-15.pdf>
4. Листвин В. Н., Наний О. Е., Трещиков В. Н., Убайдуллаев Р. Р. и др. Эксплуатация DWDM систем. Москва. 2011.
5. Власов И. И., Сладких Д. В. Что такое OTN? // Вестник Связи. 2008. № 1. С. 81–85. URL: [http://lvk.cs.msu.su/~bahmurov/course\\_advanced\\_networks/2016/OTN.pdf](http://lvk.cs.msu.su/~bahmurov/course_advanced_networks/2016/OTN.pdf)
6. Владыко А. Г., Киричек Р. В., Новиков М. И. Исследование передачи трафика OpenFlow по высокоскоростным оптическим магистральным сетям // 71-я Всероссийская научно-техническая конференция, посвященная Дню Радио. 2016. С. 182–184.
7. Владыко А. Г., Матвиенко Н. А., Новиков М. И., Киричек Р. В. Тестирование контроллеров программно-конфигурируемой сети на базе модельной сети // Информационные технологии и телекоммуникации. 2016. Т. 4. № 1. С. 17–28. URL: <http://www.sut.ru/doci/nauka/review/20161/17-28.pdf>

8. Владыко А. Г., Киричек Р. В., Великоречин М. А., Думин Д. И. Комплексная методика тестирования фрагмента программно-конфигурируемой сети // Информационные технологии и телекоммуникации. 2015. № 2 (10). С. 20–29. URL: <http://www.sut.ru/doci/nauka/review/2-15.pdf>

### References

1. Vladyko, A., Kirichek, R., Matvienko, N. Testing SDN-Controller with Allowance for IoT Traffic // 71 All-Russian Science and Technology Conference dedicated to the Day of Radio. 2016. pp. 181–182.

2. Kirichek, R., Vladyko, A., Zakharov, M., Koucheryavy, A. Model Networks for Internet of Things and SDN // 18th International Conference on Advanced Communication Technology (ICACT). 2016. pp. 76–79.

3. Kirichek, R., Vladyko, A., Zakharov, M., Koucheryavy, A. Model Networks for Internet of Things and SDN // Telecom IT. 2015. Vol. 3 (11). pp. 17–26. URL: <http://www.sut.ru/doci/nauka/review/3-15.pdf>

4. Listvin, V., Nanii, O., Treschikov, V., Ubaydullaev, R. et al. Exploitation of DWDM systems. Moscow. 2011.

5. Vlasov, I., Sladkih, D. What is OTN? // Vestnik svyazi. 2008. No. 1. pp. 81–85. URL: [http://lvk.cs.msu.su/~bahmurov/course\\_advanced\\_networks/2016/OTN.pdf](http://lvk.cs.msu.su/~bahmurov/course_advanced_networks/2016/OTN.pdf)

6. Vladyko, A., Kirichek, R., Novikov, M. The Study of OpenFlow Traffic Transmission on High-Speed Optical Backbone Networks // 71 All-Russian Science and Technology Conference dedicated to the Day of Radio. 2016. pp. 182–184.

7. Vladyko, A., Matvienko, N., Novikov, M., Kirichek, R.: SDN-Controllers Benchmarking based on Model Network // Telecom IT. 2016. Vol. 4. Iss. 1. pp. 17–28 (in Russian). URL: <http://www.sut.ru/doci/nauka/review/20161/17-28.pdf>

8. Vladyko, A., Kirichek R., Velikorechin, M., Dumin, D. Benchmarking Methodology of Software-Defined Networks // Telecom IT. 2015. Vol. 2 (10). pp. 20–29. URL: <http://www.sut.ru/doci/nauka/review/2-15.pdf>

#### ***Муратов Элзар Мээрбекович***

– аспирант, СПбГУТ, Санкт-Петербург, 193232, Российская Федерация, [elzar.muratov@yandex.ru](mailto:elzar.muratov@yandex.ru)

#### ***Киричек Руслан Валентинович***

– кандидат технических наук, доцент, СПбГУТ, Санкт-Петербург, 193232, Российская Федерация, [kirichek@sut.ru](mailto:kirichek@sut.ru)

#### ***Кучерявый Андрей Евгеньевич***

– доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой, СПбГУТ, Санкт-Петербург, 193232, Российская Федерация, [akouch@mail.ru](mailto:akouch@mail.ru)

#### ***Muratov Elzar***

– postgraduate, SPbSUT, St. Petersburg, 193232, Russian Federation, [elzar.muratov@yandex.ru](mailto:elzar.muratov@yandex.ru)

#### ***Kirichek Ruslan***

– Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor, SPbSUT, St. Petersburg, 193232, Russian Federation, [kirichek@sut.ru](mailto:kirichek@sut.ru)

#### ***Koucheryavy Andrey***

– Doctor of Engineering Sciences, professor, Head of the Department, SPbSUT, St. Petersburg, 193232, Russian Federation, [akouch@mail.ru](mailto:akouch@mail.ru)