

## ТЕХНОЛОГИЯ LR-PON: о целесообразности использования на сетях доступа

А.Коридзе, ассистент СибГУТИ / a.n.koridze@mail.ru,  
С.Тимченко, доцент СибГУТИ,  
В.Шувалов, д.т.н., профессор СибГУТИ

УДК 621.391.63 : 681.7.068 / ВАК 05.12.13, DOI: 10.22184/2070-8963.2019.82.5.32.38

Растущая с каждым годом потребность пользователей в услугах, требующих высоких скоростей передачи данных, приводит к увеличению капитальных и эксплуатационных затрат операторов. В статье рассмотрены такие преимущества использования сетей доступа большого радиуса действия перед классической сетью GPON, как простота эксплуатации и экономическая выгода.

### Эволюция технологий доступа

Расширение номенклатуры сетевых услуг, развитие технологий передачи видеоконтента, рост охваченной широкополосными услугами пользовательской базы и многие другие факторы приводят к необходимости постоянного повышения скорости передачи данных на уровне доступа. При этом, в соответствии с законом Нильсона, скорость передачи данных, необходимая конечным пользователям, возрастает на 50% каждый год. Это означает, что пользователь, которого удовлетворяла в 2013 году скорость 58 Мбит/с, в 2016 году уже нуждался в скорости 130 Мбит/с.

Стратегией развития информационного общества в Российской Федерации на 2017–2030 годы запланировано до 2024 года довести в общем числе домохозяйств долю домашних хозяйств, имеющих широкополосный доступ в интернет, до 97%, причем скорость передачи должна составить 100 Мбит/с. Кроме того, планируется обеспечить устойчивое покрытие сетями 5G всех крупных городов с численностью населения 1 млн человек и более [1, 2].

Необходимость в обеспечении высоких скоростей требует широкого внедрения

в фиксированном секторе сети доступа широкополосных волоконно-оптических технологий. Оптические сети доступа имеют серьезные преимущества перед сетями, построенными на основе медного или коаксиального кабеля. Они обеспечивают гораздо более высокие скорости передачи данных на большие расстояния и при этом абсолютно нечувствительны к электромагнитным помехам и перекрестным наводкам.

Различают активные и пассивные оптические сети доступа [3–4]. Наибольшее распространение получили пассивные оптические сети доступа (Passive Optical Access Networks) или сети PON. Первые шаги в создании технологии PON были предприняты еще в 1995 году, когда группа компаний из разных стран создала консорциум FSAN (Full service Access Network) для реализации идеи множественного доступа по одному волокну. Внешняя сеть (Outside plant, OSP) PON строится без использования активных элементов. Сеть PON состоит из следующих основных элементов: оптического линейного терминала (Optical Line Terminal, OLT); оптических сетевых терминалов (Optical Network Terminal, ONT), которые соединяются с OLT внешней сетью.

Следует заметить, что распространение оптоволоконных технологий FTTH/FTTB (оптоволоконно до дома/здания) в странах ЕС по состоянию на июль 2017 года достигло 13% [5]. Самые высокие показатели в ЕС зарегистрированы в Литве и Латвии, где проникновение FTTH/В достигло, соответственно, 69 и 63%. Уровень проникновения оптоволоконных технологий в России на июль 2017 года превысил 40%, что существенно выше, чем во многих странах Европы.

Основными технологиями, используемыми сегодня на сетях PON, являются GPON (стандарт IEEE 802.3ah) и XGPON (стандарт МСЭ-Т G.984.6) [6, 7]. Отличие технологий XGPON и GPON заключается в активном оборудовании. Пассивная инфраструктура практически одинакова. Скорости передачи GPON для нисходящего потока (от OLT) составляет 2,488 Гбит/с, для восходящего потока (к OLT) – 1,244 Гбит/с. Скорости передачи GPON для восходящего и нисходящего потоков одинаковы и равны 1,244 Гбит/с.

В 2010 году появился стандарт МСЭ-Т G.987 [8] (скорость нисходящего потока 10 Гбит/с, восходящего – 2,5 Гбит/с). В 2013 году был создан стандарт G.989, предназначенный для реализации на PON-сетях передачи нисходящего потока уже на скорости 40(80) Гбит/с и восходящего – 10 Гбит/с [9]. Если в GPON и XG-PON используется временной метод доступа (TDM), то стандарт G.989 предполагает использование гибридной технологии доступа – частотное и временное разделение каналов (TWDM). Сети на основе XG-PON – это сети следующего поколения первого уровня (NG-PON1), сети с использованием гибридной технологии доступа (TWDM) – это уже сети следующего поколения второго уровня (NG-PON2).

Разработка сетей доступа следующего поколения осуществляется с учетом следующих требований:

- обеспечения скорости передачи данных более 100 Мбит/с и гарантии выделения требуемых ресурсов в расчете на пользователя;
- увеличения зоны обслуживания (более 60 км) и решения вопросов обеспечения надежности;
- увеличения числа пользователей на сеть доступа;
- снижения капитальных и эксплуатационных затрат, в том числе за счет усовершенствования систем обслуживания, поиска и устранения отказов;
- обеспечения возможности использования сети доступа несколькими операторами (Local Loop Unbundling, LLU);
- возможность обеспечения симметрии по скорости для восходящего и нисходящего потоков,

а в дальнейшем, для некоторых пользователей, и преобладание по скорости восходящего потока над нисходящим.

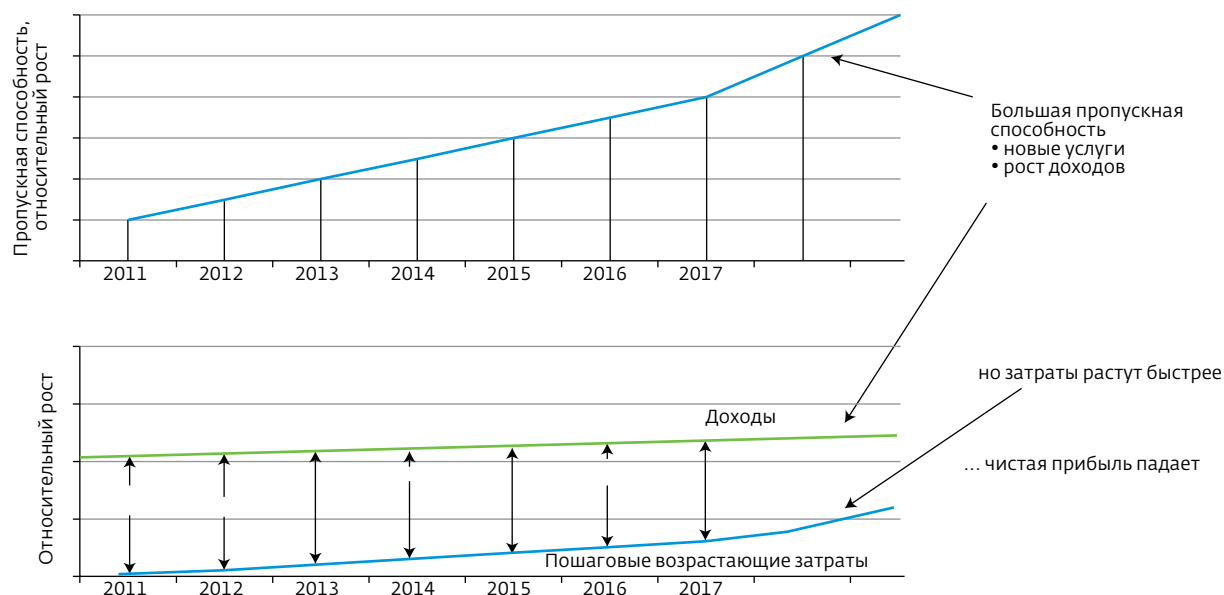
## Методы доступа, выбор технологии

Один из основных вопросов при разработке сети доступа – выбор технологии доступа. Вспомним историю построения многоканальных систем или, фактически, историю методов доступа. Первоначально использовались частотные методы доступа, затем с развитием цифровых методов обработки сигналов появилась возможность использования временного метода доступа. Развитие по спирали предполагает возврат к частотным методам доступа или, точнее, полномасштабному использованию спектрального разделения. Переход к технологии TWDM – это промежуточный шаг, за которым может последовать переход полностью на спектральное разделение или разделение по длине волны (Wave Division Multiplexing, WDM) с использованием того или иного количества волн и выделением каждому ONT своей длины волны [10, 11]. В таких сетях доступа будет обеспечена высокая гарантированная скорость передачи на абонентское устройство (ONT).

Будут ли необходимы столь высокие скорости передачи данных, о которых упоминалось выше? Исследования, выполненные Европейской комиссией FTTH (Fibre to the Home Council Europe), говорят о необходимости обеспечить к 2020 году половину всех домохозяйств в Европе доступом в сеть со скоростями до 100 Мбит/с. В среднем по Европе с 2020 по 2030 год будет достигнуто [12]:

- для домашних пользователей – 25–300 Мбит/с на ONT;
- для бизнес-пользователей – 100–400 Мбит/с на ONT;
- для транспорта мобильной сети (Mobile Backhaul) – 0,5–4,5 Гбит/с.
- Планируемые значения скоростей для Европы на 2030 год:
- для домашних пользователей – 1 Гбит/с на ONT;
- для 70% бизнес-пользователей – 1 Гбит/с и 30% 10 Гбит/с на ONT;
- для транспорта мобильной сети (Mobile Backhaul) – 10 Гбит/с на базовую станцию.

Прогресс в области цифровых технологий и успехи в деле исследования методов спектрального уплотнения [13–15] делают возможным обеспечение таких показателей. Однако с ростом пропускной способности растут и затраты на реализацию таких сетей. При этом скорость роста затрат выше, чем рост пропускной способности, что ведет к падению чистой прибыли (рис.1).



**Рис.1.** Уменьшение чистой прибыли с ростом пропускной способности

Использование новых технологий доступа, обеспечивающих рост пропускной способности, должно быть экономически оправданным и социально необходимым. Известно, что с годами стоимость единицы пропускной способности падает, и уменьшение стоимости происходит в соответствии с законом Learning Curve (кривая обучения) [16]. Этот закон действует для всех видов продукции и характеризует снижение стоимости единицы продукции с увеличением объема ее выпуска. Он, в равной мере, имеет отношение и к пропускной способности, если рассматривать пропускную способность как некий продукт, объем выпуска которого определяется в Гбит/с.

Технологии традиционно следуют значению Learning Curve в 80%. Это означает, что цена единицы продукции объема 2V соответствует 80% от цены единицы продукции объема V. Существует простое соотношение между ростом дохода (прибыли)  $G_d$  и ростом пропускной способности  $G_{\Pi}$ , при котором увеличение пропускной способности экономически целесообразно:

$$1 + G_d \geq (1 + G_{\Pi})^{1+L}, \quad (1)$$

где  $L = \log(L\%/100)\log$ ;  $L\%$  - Learning Curve.

Как обеспечить требуемое значение пропускной способности, не поступаясь экономикой? Известно, что скорость снижения стоимости базовых компонентов сети (волокно, лазеры, сплиттеры) оставляет желать лучшего и не всегда способствует выполнению (1) [17]. Отсюда вытекает необходимость обеспечения технико-экономических показателей сети доступа путем снижения общего числа устройств в сети, то есть ее упрощения и улучшения использования сетевой архитектуры. Ключом к решению этой задачи является переход к оптическим сетям доступа большого радиуса действия [18], обозначаемым в англоязычной технической литературе как Long-Reach PON (LR-PON). В сетях LR-PON объединяются классическая сеть доступа и городская (Metro) сеть, а сплиттеры размещаются максимально близко к ONT, что сокращает затраты на волокно, используемое в распределительном сегменте сети доступа.

## ПЕРЕХОД К LR-PON

В [19] рассматриваются подходы к построению сетей LR-PON радиусом действия до 100 км, коэффициентом деления до 512, гибридной технологией

мультиплексирования TWDM и OOK модуляцией. При этом необходимый бюджет мощности при работе в С-диапазоне на расстояние в 100 км и делении на 512 составляет примерно 51,5 дБ (потери в волокне 0,2 дБ/км, 3,5 дБ на каскад сплиттера) и 69 дБ (потери в волокне 0,375 дБ/км и 3,5 дБ на каскад сплиттера) в О-диапазоне. Мощность сигнала, поступающего в волоконно-оптический кабель, не должна превышать 15 дБм. В противном случае появляются нелинейные искажения. Выходная мощность (OLT или ONT) при использовании технологии TWDM с 32(40) WDM-каналами не должна превышать 0 дБм. В [19] чувствительность приемников APD (Avalanche Photo Diode) полагается -30 дБм при коэффициенте ошибок  $10^{-3}$  и скорости 10 Гбит/с. Наличие предварительного усилителя в OLT позволяет повысить чувствительность приемника до -35 дБм, а использование когерентного детектирования улучшает чувствительность приемника до -46 дБм. Таким образом, доступный бюджет мощности в системах с прямым детектированием и OOK с использованием предварительного усилителя OLT составляет 35 дБ в нисходящем потоке и около 40 дБ в восходящем потоке. Следовательно, применение технологии LR-PON приводит к необходимости использования встроенных оптических усилителей. Это могут быть усилители EDFM, Raman, SOA, а также гибридные SOA-Raman.

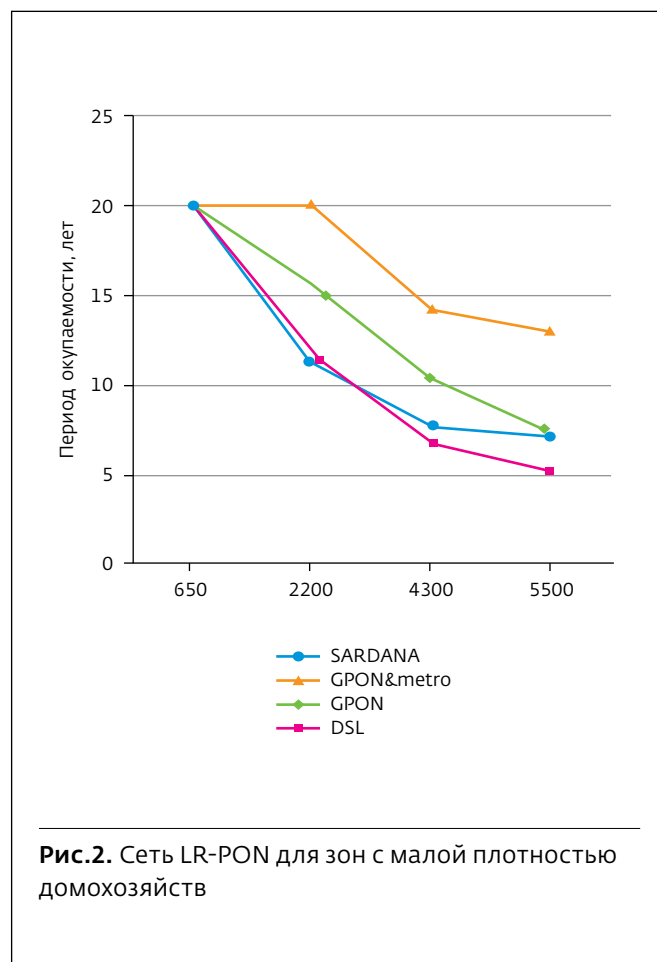
В [19] рассматривается несколько вариантов построения сети LR-PON. В качестве основного варианта – 90-км магистральный кабель и 10-км распределительная сеть. В центральном узле (СО) используются усилители и сплиттеры 4×2. Для повышения коэффициента готовности используется резервирование узла М/С (Metro/core). Общий коэффициент деления 512, что позволяет обслуживать 512 пользователей. Большое расстояние от узла М/С до СО требует относительно большой мощности сигнала на выходе М/С-узла, а большой коэффициент деления (512) вызывает необходимость в большой мощности сигнала на выходе СО-узла. Такая топология LR-PON пригодна для организации связи в зонах с большой плотностью населения.

В зонах с малой плотностью домохозяйств распределительный сегмент должен простирается на очень большие расстояния. Этот вариант также рассмотрен в [19]. Здесь распределительный сегмент (Optical Distribution Network, ODN) простирается до 80 км и магистральный сегмент сокращен до 20 км. Реализация такого варианта LR-PON с использованием значений коэффициента деления 512 становится невозможной вследствие

ограничений, обусловленных бюджетом по мощности. При радиусе действия ODN до 80 км общий коэффициент деления не должен превышать 8, что экономически невыгодно. Если сократить радиус действия ODN до 40 км, то коэффициент деления можно увеличить до 64, что уже сопоставимо со значением коэффициентов деления в GPON.

Более интересный вариант построения сети LR-PON для зон с малой плотностью населения представлен на рис.2. Здесь общий коэффициент деления 640 достигим с динамическим диапазоном усилителя 14 дБ и запасом по отношению с/ш 4,4 дБ для восходящего направления. Следует отметить, что мощность сигнала на выходе канала не превышает 7 дБм на канал, что значительно снижает влияние нелинейности волокна. Магистральный сегмент на рис.2 состоит из нескольких укороченных секций и используется несколько узлов СО, на которых размещаются усилители.

Детали перехода к технологии LR-PON будут определяться особенностями страны: состоянием медной инфраструктуры, текущими успехами в развертывании сетей доступа, уровнем проникновения



**Рис.2.** Сеть LR-PON для зон с малой плотностью домохозяйств

**Таблица 1. Значения CAPEX для рассматриваемых технологий и плотности домашних хозяйств, евро/Дх**

Плотность (Дх/км <sup>2</sup> )	GPON with Metro	SARDANA	GPON	DSL
5500	1020	860	405	198
4300	1105	935	510	240
2200	1425	1195	645	340
650	2450	2020	2120	830

услуг ШПД, нормативной базой и плотностью домохозяйств. Возьмем в качестве примера телекоммуникационный рынок Франции [20]. Эта страна отличается хорошим качеством существующей медной инфраструктуры и жесткой конкуренцией между поставщиками интернет-доступа (Internet Access Provider, IAP), что способствует относительно низким ежемесячным ставкам оплаты ШПД.

Поскольку инвестиции, необходимые для развертывания инфраструктуры оптического доступа, велики [21–23] и, по-видимому, в ближайшем будущем вряд ли могут быть существенно уменьшены, важно определить стратегии наиболее выгодного развертывания таких сетей и оценить влияние на затраты различных факторов, таких как выбранная технология, скорость передачи и плотность домохозяйств.

Следуя [20], рассмотрим три различные технологии: цифровая абонентская линия (DSL), которая представляет собой решение на основе меди, и два оптических решения, Gigabit PON (GPON) и Long-reach PON (LR-PON).

Рассматриваемое решение LR-PON основано на проекте SARDANA, целью которого является повышение эффективности решения FTTH. Согласно [24], основными преимуществами SARDANA являются: меньшее количество СО (уменьшение OPEX), радиус действия 100 км (более чем в три раза больше, чем для GPON), в 32 раза больше полоса пропускания (WDM с пропускной способностью на волну 10 Гбит/с), до 1024 абонентов на оптоволокно.

Рассматриваются четыре различных варианта плотности домашних хозяйств на квадратный километр: плотная городская застройка от 5500 домохозяйств на квадратный километр (Дх/км<sup>2</sup>), городская застройка Дх/км<sup>2</sup> от 4300, пригородная зона от 2200 Дх/км<sup>2</sup>, сельская – 650 Дх/км<sup>2</sup>.

При проведении технико-экономического анализа разных технологий с целью их сравнения следует использовать различные подходы к расчету

затрат на развертывание. В [20] рассматриваются две группы сетей – "чистые" сети доступа (DSL и GPON) и сети Metro, объединенные с сетями доступа (GPON с Metro и SARDANA). Капитальные затраты (CAPEX), связанные с DSL, – процесс перемещения DSLAM ближе к пользователю; затраты на технологию GPON – это затраты на магистральный кабель и расходы на активное оборудование. В [25] доказано, что для городской территории затраты на внешнюю сеть (OSP) для GPON соизмеримы с расходами на активное оборудование, поэтому конечная стоимость развертывания сети GPON равна удвоенной стоимости активного оборудования. Методология расчета расходов CAPEX для GPON с Metro и SARDANA аналогична. Капитальные затраты для GPON с кольцом Metro и SARDANA взяты из [26]. Другие результаты основаны на данных, приведенных в [27, 28]. В табл.1 приведены значения CAPEX для рассматриваемых технологий и различной плотности домашних хозяйств. Согласно данным, приведенным в [29] и [30], затраты на операционные расходы (OPEX) составляют 13 и 11% от общих затрат на развертывание сети для GPON и SARDANA соответственно, и 45% – для DSL.

Из табл.1 следует, что совместные затраты на сеть доступа и GPON & Metro выше, чем затраты на сеть SARDANA при всех значениях плотности домохозяйств. С уменьшением плотности домохозяйств затраты растут, что увеличивает период окупаемости [20]. Технология LR-PON (SARDANA) превосходит с точки зрения периода окупаемости как GPON & Metro, так и просто GPON. При малой плотности домохозяйств периоды окупаемости DSL и SARDANA примерно одинаковы, для больших значений плотности домохозяйств DSL имеет небольшое преимущество перед SARDANA. Однако не следует забывать, что технология DSL – это вчерашний день, и, следовательно, переход на технологию LR-PON является экономически оправданным.

МОСКВА, ВДНХ, ПАВИЛЬОН №75

22-25 ОКТЯБРЯ 2019

XXIII МЕЖДУНАРОДНАЯ ВЫСТАВКА

# INTERPOLITEX



СРЕДСТВА ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ ГОСУДАРСТВА



[WWW.INTERPOLITEX.RU](http://WWW.INTERPOLITEX.RU)

ОРГАНИЗАТОРЫ



МВД РОССИИ



ФСБ РОССИИ



РОСГВАРДИЯ

ОРГАНИЗАТОР  
ВЫСТАВКИ «ГРАНИЦА»



ПС ФСБ РОССИИ

ЭКСПОНЕНТ-КООРДИНАТОР  
ОТ МВД РОССИИ



ФКУ «НПО «СТИС»  
МВД РОССИИ

ГЕНЕРАЛЬНЫЙ  
УСТРОИТЕЛЬ



ЗАО «ОВК «БИЗОН»

## ЛИТЕРАТУРА:

1. О стратегии развития информационного общества в Российской Федерации в 2017–2030 годы: указ Президента РФ от 09.05.2017 № 203.
2. Об утверждении программы "Цифровая экономика Российской Федерации": распоряжение Правительства РФ от 28.07.2017 № 1632-р.
3. **Shami A., Maier M., Assi C.** Broadband Access Networks. Technologies and Deployments. – Springer, 2004.
4. Kun Wang. Migration towards Next Generation Optical Access and Transport Networks : Doctoral Thesis in Information and Communication Technology. – Stockholm: Royal Institute Technology. 2017.
5. **Трепалина Ю.** Проникновение оптоволоконных технологий FTTH/B в Евросоюзе достигло 13% [эл. ресурс].-URL: <https://nag.ru/news/newsline/100510/proniknovenie-optovolokonnyih-tehnologiy-ftth-b-v-evrosoyuze-dostiglo-13-.html>
6. IEEE Ethernet in the First Mile, IEEE 802.3ah EFM standard, 2004.
7. ITU-T **Recommendation G.984.1.** Gigabit-capable passive optical networks (GPON): General characteristics, 2003.
8. ITU-T **Recommendation G.987.10**-Gigabit-capable passive optical network (XG-PON) systems: Definitions, abbreviations and acronyms, 2010.
9. ITU-T G.989 Series Recommendations. 40-Gigabit-Capable Passive Optical Network (NG-PON2), 2015.
10. **Mukherjee E.** Optical WDM Networks. – New-York : Springer, 2006. 959 p.
11. ITU-T G.698.3. 5G15 Multichannel seeded DWDM applications with single-channel optical interfaces, Feb. 2012.
12. Consolidated requirements for European next-generation access networks / OASE\_D2.2.2\_WP2, 2012. 28 p.
13. Развитие фотоники в России и мире: публичный аналитический доклад. – М.: Битуби, 2016. С. 197.
14. **Варданян В.А.** Оценка количества спектральных и поднесущих каналов в волоконно-оптических сетях доступа при однополосной оптической модуляции // Автометрия. 2016. Т. 52. № 3. С. 116–124.
15. **Варданян В.А.** Оценка пропускной способности пассивной оптической сети доступа с частотным разделением поднесущих каналов // Электросвязь. 2017. № 7. С. 61–66.
16. Skills Platform. Learning Curve Group. URL: <https://www.skillsplatform.org/organisation/learning-curve-group>
17. Learning Curve Group. TEC Services Association. URL: <https://www.tsa-voice.org.uk/training/learning-curve-group>.
18. **Шувалов В.П.** Пассивные оптические сети большого радиуса действия. – М.: Горячая линия – Телеком, 2018. 154 с.
19. DISCUS. D 2.2, First WP2 Progress Report. 96 p. URL: <https://cordis.europa.eu/docs/projects/cnect/7/318137/080/deliverables/001-DISCUSD22Final.pdf>
20. **Walezyk K., Gravey A.** Techno-Economic Comparison of Next-Generation Access Networks for the French Market // Information and Communication Technologies : EUNICE 2012. P. 136–147.
21. **Tomkos I.** Techno-economic comparison of next generation optical access network architectures // 50th FITCE Congress (FITCE), August 31–September 3, 2011.
22. **Wang K.** et al. Techno-Economic Analysis of Active Optical Network Migration Towards the Next Generation Optical Access // IEEE/OSA Journal of Optical Communications and Networking. 2017. Vol. 9. Issue 4. P. 327–341.
23. **Havic Z., Mikac B.** Economic Model for FTTH Access Network Design // Universal Journal of Communications and Network. 2015. № 3. P. 57–63.
24. Techno-economic Evaluation of Next Generation FTTx Access Network deployments. PRESETATION. URL: [www.ait.yr](http://www.ait.yr)
25. **Prat J.** et al. SARDANA: an all-optical access-metro WDM/TDM-PON FITCE Congress, FITCE, September 3, 2010.
26. **Lannoo B.** et al. ALPHA reference model for techno-economics in access networks // Workshop/open event organised in the Framework of the FTTH Conference, February 8, 2011.
27. **Chatzi S.** et al. Techno-economic comparison of current and next generation long reach optical access networks // 9th Conference on Telecommunications, Internet and Media Techno Economics (CTTE), June 7–9, 2010. P. 16.
28. Cost analysis for DSL Networks. URL: <http://www.ictregulationtoolkit.org/en/PracticeNote.aspx?id=2899> (accessed March 11/ 2012).
29. **Hocrnig S.** et al. The universal connectivity revolution // WIK-Consult, Bad Honnef, December 2010.
30. **Klein S.** 10 Steps to Improve FTTH OPEX // FTTH Conference and Expo, 2009. 147 p.
31. **Casier K.** Techno-Economic Evaluation of a Next Generation Access Network Deployment in a Competitive Setting : PhD Thesis. – University of Ghent (Defende). 283 p.

26-я Международная выставка  
технических средств охраны  
и оборудования для обеспечения  
безопасности и противопожарной защиты



**securika**  
Moscow



Москва

**13–16  
апреля  
2020**

Крокус Экспо



Видеонаблюдение



Контроль  
доступа



Охрана  
периметра



Противопожарная  
защита



Сигнализация  
и оповещение



Автоматизация  
зданий



Организатор  
Группа компаний ITE  
+7 (499) 750-08-28  
security@ite-expo.ru

**securika-moscow.ru**