

ПРИКЛАДНЫЕ АСПЕКТЫ ПРИМЕНЕНИЯ СЕТЕВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ WDM-PON

А. П. Вандич¹, В. В. Ефимов¹, И. Е. Никульский², О. А. Степуленок^{2*}

¹ ЛО ЦНИИС, Санкт-Петербург, 196128, Российская Федерация

² ОАО «ЦНПО» Ленинец», Санкт-Петербург, 196066, Российская Федерация

* Адрес для переписки: ostepulenok@mail.ru

Аннотация

Рассматриваются условия работоспособности и прикладные аспекты построения пассивных оптических сетей с волновым разделением. Предложена новая технология построения сети данного класса, обеспечивающая повышение эффективности использования оптоволокна за счет применения разделения направлений передачи по направлениям распространения светового потока и реализуемая на основе отечественной электронной компонентной базе (ЭКБ) волоконно-оптических элементов.

Ключевые слова

информационно-телекоммуникационные сети, пассивная оптическая сеть с волновым разделением, емкость сегмента сети, эффективность использования оптоволокна.

Информация о статье

УДК 621.395.74

Язык статьи – русский.

Поступила в редакцию 21.01.17, принята к печати 28.02.17.

Ссылка для цитирования: Вандич А. П., Ефимов В. В., Никульский И. Е., Степуленок О. А. Прикладные аспекты применения сетевых технологий WDM-PON // Информационные технологии и телекоммуникации. 2017. Том 5. № 1. С. 34–43.

APPLIED ASPECTS OF WDM-PON NETWORK TECHNOLOGIES APPLICATION

A. Vandich¹, V. Efimov¹, I. Nikulskiy², O. Stepulenok^{2*}

¹ LO ZNIIS, St. Petersburg, 196128, Russian Federation

² JSC "CSPA "LENINETZ", St. Petersburg, 196066, Russian Federation

* Corresponding author: ostepulenok@mail.ru

Abstract—The article is devoted to operability conditions and applied aspects of passive optical networks construction with wave division. New technology of this class network construction is offered, providing optical fiber using efficiency increasing due to directions division using in directions of light

stream propagation and implemented on the basis of domestic electronic component base of fiber optics elements.

Keywords—Information and telecommunication networks, passive optical network with wave division, network segment capacity, optical fiber using efficiency.

Article info

Article in Russian.

Received 21.01.17, accepted 28.02.17.

For citation: Vandich A., Efimov V., Nikulskiy I., Stepulenok O.: Applied Aspects of WDM-PON Network Technologies Application // Telecom IT. 2017. Vol. 5. Iss. 1. pp. 34–43 (in Russian).

Введение

Активно внедряемые в настоящее время технологии пассивных оптических сетей PON (*Passive Optical Network*) представляют собой обширный класс технологий построения оптических широкополосных сетей. Принципы построения и особенности внедрения данного класса технологий были описаны в публикациях [1, 2, 3, 4], а математические модели для анализа их характеристик – в [5].

На основе данного класса технологий могут быть построены высокоскоростные локальные вычислительные сети, распределенные высокопроизводительные информационно-управляющие системы морских и воздушных судов, сегменты доступа информационно-телекоммуникационных сетей и другие высокоскоростные системы телекоммуникаций.

В данной публикации попытаемся раскрыть чисто прикладной аспект построения конкретного системно-сетевого решения класса FTTB (*Fiber To The Building* – с доведением оптоволокна до здания) на базе новой технологии WDM-PON, реализуемой на основе отечественных компонентов волоконной оптики [6].

Задачи и цель разработки

В крупных городах России, при развертывании NGN-IMS инфраструктуры [4] в фиксированном сегменте информационно-телекоммуникационных сетей широко внедряются решения класса FTTH, базирующиеся на технологии GPON, относящейся к классу гигабитных технологий PON с временным разделением – TDM PON [1].

Вместе с этим, в публикациях [1, 2, 3] были отмечены преимущества технологий с волновым разделением WDM-PON. При использовании этих технологий в сети, объединяющей N пользователей, каждому пользователю выделяется свой независимый дуплексный канал [1], на своей длине волны λ_i , обеспечивающий симметрию пропускных способностей восходящего и нисходящего направлений, при условии, что в сети используется N длин волн. Суммарная пропускная способность в сегментах таких сетей приблизительно в N раз больше, чем при использовании TDM PON.

Согласно приведенной в [3] классификации, выделяются технологии WDM-PON с цветовыми и бесцветными ONT, причем применение последних признано предпочтительным, поскольку они обеспечивают унификацию оборудования ONT.

Однако, как отмечалось в [1, 2], реализация технологий WDM-PON, приемлемых по достижимой пропускной способности для внедрения в современных сетях доступа, сопряжена с применением специальных новых компонентов волоконной оптики, таких как отражательные полупроводниковые усилители-ремодуляторы, полупроводниковые лазеры с гребенчатым спектром излучения [1, 2], перестраиваемые лазеры, лазеры с внешней синхронизацией [3] и ряд других. Эти иностранные компоненты пока еще очень дороги, а их доступность на отечественном рынке ограничена. Разработка и подготовка серийного выпуска профильными предприятиями подобных отечественных компонентов, как выяснилось, требуют непомерно высоких затрат.

Авторами данной статьи были проведены поиск и реализация отечественного варианта WDM-PON, недорогого и пригодного к осуществлению в условиях жестких инвестиционных ограничений, ориентированного на применение отечественных компонентов волоконной оптики.

Результаты разработки

Для достижения поставленной цели авторами была выбрана древовидная структура сегмента PON, показанная на рис. 1.

В ее состав входят:

- центральное устройство коммутации и маршрутизации пакетов (ЦУКМП);
- приемо-передающие дуплексные оптические сменные модули (SFP-Small Form factor Plug-in – малогабаритные сменные), настроенные на используемые длины волн $\lambda_1 \dots \lambda_N$ (устанавливаются в специальные гнезда ЦУКМП);
- сетевое окончание центрального узла OLT, оснащенное WDM-мультиплексором и устройствами разделения (пассивные оптоволоконные устройства);
- одноволоконная магистральная оптическая линия до 30 км;
- пассивный узел ПУ, представляющий собой WDM-мультиплексор;
- абонентские оптические линии $\lambda_1 \dots \lambda_N$ длиной до 3 км;
- разветвители $1 \times 2 P_1 \dots P_N$;
- SFP-модули, настроенные на соответствующие длины волн $\lambda_1 \dots \lambda_N$;
- устройства коммутации и маршрутизации пакетов (оконечные УКМП₁...УКМП_N).

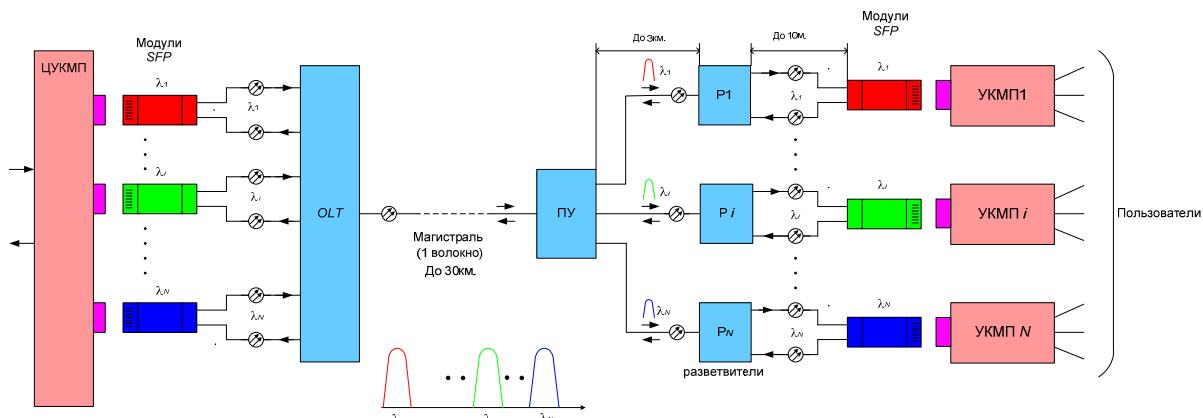


Рис. 1. Структура сегмента WDM-PON

В качестве ЦУКМП может быть применен любой коммутатор или маршрутизатор Ethernet, имеющий возможность установки SFP модулей в каждом из портов. В качестве SFP-модулей могут быть использованы любые из имеющихся на отечественном рынке модулей. Например, из недорогих линеек CWDM (Coarse Wave Division Multiplexing – грубого волнового разделения, до 16 длин волн).

Модули следует выбирать со значительным превышением декларируемой производителем максимальной перекрываемой длины линии по отношению к используемой длине магистральной линии, с тем, чтобы обеспечить перекрытие затухания элементов пассивного тракта сети. Так, при расчетной длине магистральной линии в 30 км (при последующем проведении испытаний на лабораторной испытательной линии в 40 км с положительным результатом) авторами были выбраны SPF-модули, рассчитанные на длину линии точка-точка до 80 км, типа TBSF15d-80-12g-LC-3c, на соответствующие используемые длины волн сетки CWDM.

В качестве сетевого окончания центрального узла OLT были использованы имеющиеся на рынке мультиплексоры CWDM-MUX (для четырехпортового лабораторного прототипа использовались CWDM-MUX 1×4 1550–1610 3,0 LC/APC 1,5 м). К каждому из разделенных портов мультиплексора присоединяются устройства разделения направлений распространения. Последние выполняются на основе планарных сплиттеров 1×2, обеспечивающих значительное ослабление противоположного направления распространения (до 30–40 дБ).

В качестве одноволоконной оптической линии в испытанном лабораторном прототипе была использована линия длиной 40 км (4 барабана волокна *Fujikura* «ОПТЕН-КАБЕЛЬ» по 10 км каждый, соединенные последовательно). Здесь важно отметить, что все соединения линий в сети, особенно магистральной линии, кроме портов SFP-модулей, должны выполняться посредством коннекторов SC/APC (зеленая маркировка), обеспечивающих минимальные отражения. Это является особо критичным для предлагаемой технологии.

В пассивном узле используется мультиплексор, аналогичный применяемому в OLT (без разделительных устройств). В ONT использовались SFP-модули, аналогичные используемым в OLT. Для разделения направлений передачи в ONT использовались сплиттеры, аналогичные используемым в OLT. В качестве окончного УКМП были применены коммутаторы Ethernet, имеющие один порт, оснащенный гнездами для установки SFP-модулей. Предполагалось, что предлагаемая технология будет использоваться в решениях класса FTTB, а абонентская проводка внутри здания должна выполняться стандартным сетевым кабелем 5-й категории на основе витых пар. К оконечным портам сегментов сети в процессе лабораторных испытаний подключались наборы IP-ориентированного абонентского оборудования: видеотрансляторы, SIP-телефонные аппараты, персональные компьютеры и другие.

Поскольку отличием предлагаемой сети является применение в ее сегментах принципа разделения направлений передачи по направлениям распространения светового потока, в такой сети неизбежно проявление взаимовлияния (интерференции) направлений передачи, что является дополнительным источником специфических помех и ограничений.

Условия работоспособности

Структура дуплексного канала в сегменте предлагаемой сети приведена на рис. 2. В его состав входят: передатчик стороны 1 – Пер1, приемник стороны 1 – Пр1, устройство разделения стороны 1 – УР1; аналогично для стороны 2: УР2, Пер2, Пр2. На вход приемника стороны 1 поступает полезный сигнал с мощностью $P_{\text{ПС1}} = P_2 A_{21}$ и сигнал интерференционной помехи с мощностью $P_{\text{Пом}} = P_1 A_{11}$, где P_2 – мощность передатчика на противоположной стороне линии, A_{21} – суммарное затухание линии и устройств УР1, УР2, измеренное в отношениях в направлении Пер2 – Пр1, P_1 – мощность передатчика на стороне 1, A_{11} – затухание интерференции, выраженное в отношениях и определяемое характеристиками УР, а также отражениями и обратным рассеянием в оптическом тракте. Это затухание будем называть затуханием изоляции (на каждой стороне).

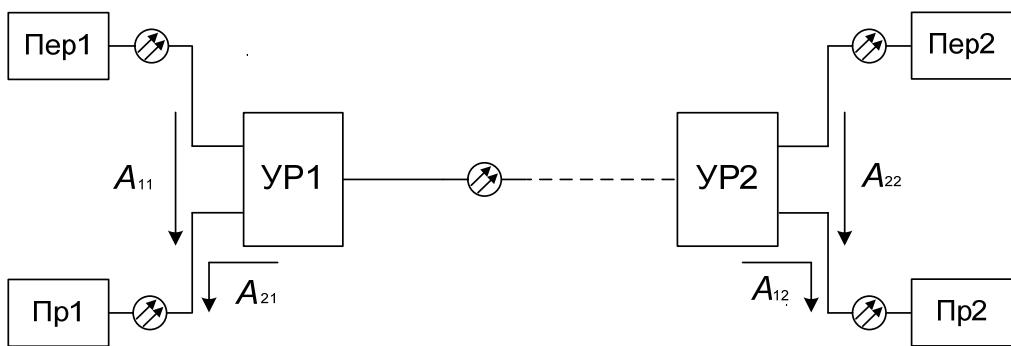


Рис. 2. Структура дуплексного канала

Выражение для определения интерференционного отношения сигнал/помеха, выраженного в децибелах, на стороне 1 имеет вид:

$$N_{\text{С/ПИ1}} = P_2 + A_{11} - P_1 - A_{21}, \quad (1)$$

здесь мощности P_1, P_2 выражены в дБм, а затухания A_{11} и A_{21} – в децибелах.

Аналогичное соотношение можно записать и для стороны 2.

Очевидно, что для устойчивой работы дуплексного канала с разделением направлений передачи по направлениям распространения светового потока должны выполняться соотношения:

$$N_{\text{С/ПИ1,2}} > N_{\text{пор}}, \quad (2)$$

$$P_{\text{Пом1,2}} < p_{\text{o1,2}}, \quad (3)$$

где $N_{\text{пор}}$ – пороговое интерференционное отношение сигнал/помеха, приводящее к выходу коэффициента ошибок в канале за пределы установленной нормы, $P_{\text{Пом1,2}}$ – мощность сигнала помехи на сторонах 1 и 2 соответственно, $p_{\text{o1,2}}$ – порог чувствительности приемников на сторонах 1 и 2 соответственно.

Физическая сущность полученных соотношений сводится к тому, что с одной стороны интерференционное отношение сигнал/помеха должно быть ниже порогового значения, приводящего к ухудшению качества канала. С другой стороны, уровень интерференционной помехи на каждой из сторон линии должен быть ниже порога чувствительности соответствующего приемника. Последнее особенно важно при построении дублированных линий с автоматическим переходом на резерв (в дублированных сетях с повышенной надежностью). При обрыве линии, в случае невыполнения неравенства (3), коммутатор может воспринять сигнал от своего передатчика как нормальный сигнал, приходящий с противоположной стороны, и не перейти на обслуживание резервной агрегированной линии, что неминуемо приведет к полному отказу сети при одиночном обрыве линии и является недопустимым.

Таким образом, становится ясно, что основной целью мероприятий, направленных на повышение качества рассматриваемого сетевого канала, является совершенствование всей оптической инфраструктуры, обеспечивающее повышение затуханий изоляции на каждой из сторон линии. При этом данное затухание определяется следующими основными факторами:

- затуханием в разделительных устройствах при минимальном отражении в тракте магистральной линии;
- отражениями во всех элементах тракта;
- обратным рассеянием в линии.

В Ленинградском отделении Центрального научно-исследовательского института связи (ЛО ЦНИИС) была реализована и испытана лабораторная установка, представляющая собой натурную модель сегмента предлагаемой сети с длиной магистральной линии 40 км. Испытания проводились на симметричной скорости потока 1 Гбит/с в каждом из волновых каналов четырехканальной лабораторной установки. Положительные результаты испытаний доказали работоспособность предлагаемой технологии.

Вариант системно-сетевого решения

Один из вариантов системно-сетевого решения на основе предлагаемой технологии показан на рис. 3.

В помещении узла связи размещается комплекс аппаратно-программных средств коммутации (КАПСК) центральной АТС. Сеть абонентского доступа для предоставления телефонных соединений строится традиционными методами на основе кабелей с металлическими жилами, проложенных в кабельной канализации, чем обеспечивается предоставление основной услуги 24 часа в сутки, в том числе при отказе сети энергоснабжения в помещениях абонентов. Широкополосный доступ абонентов к услугам информационно-телекоммуникационных сетей осуществляется посредством применения предлагаемой технологии CWDM-PON. На узле связи расположены один или несколько коммутаторов пакетов уровня L3 – КП L3, имеющих слоты для установки SFP оптических модулей на всех абонентских портах. Каждые 8 или 16 SFP-модулей, установленных в слоты коммутатора, настроены на длины волн каждого из подключаемых коммутаторов зданий. Оптические линии (R , T – прием и передача) от SFP-модулей коммутаторов на узле связи соединяются с разветвителями-мультиплексорами на 8 или 16 длин волн РМ-8 или РМ-16, в зависимости от требуемой размерно-

сти сети соответственно. На рис. 3 показан РМ-8. Объединенные порты разветвителей-мультиплексоров соединяются одним из волокон проложенного волоконно-оптического кабеля (ВОК) с пассивным узлом сети – мультиплексором М-8 (М-16), расположенным в одном из зданий (в отапливаемом помещении), вблизи скоплений абонентов (группы зданий). Коммутаторы пакетов в зданиях подключаются по одному из волокон проложенных ВОК к пассивному узлу сегмента PON, к каждому из разделенных портов мультиплексора $\lambda_1 \dots \lambda_8$ ($\lambda_1 \dots \lambda_{16}$). SFP-модули, установленные в коммутаторы размещенные в зданиях, настроены на длины волн из сетки CWDM, соответствующие данному зданию, т. е. на одну из длин волн $\lambda_1 \dots \lambda_8$ ($\lambda_1 \dots \lambda_{16}$).

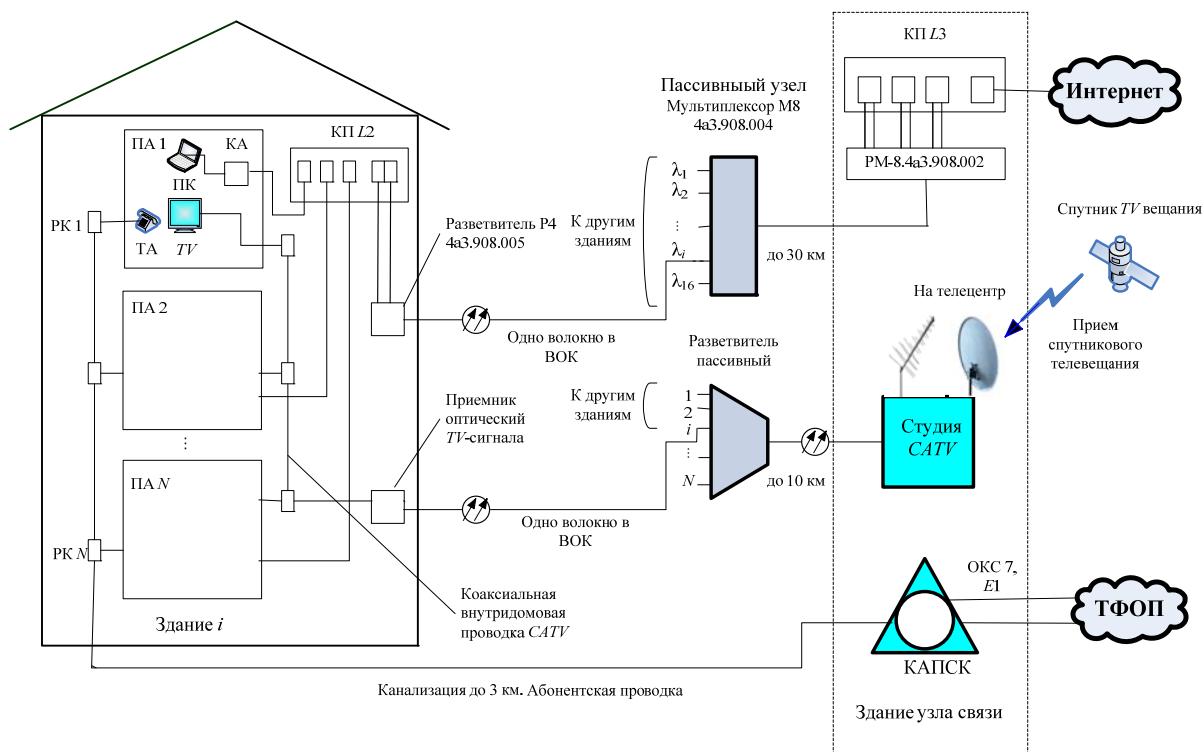


Рис. 3. Вариант системно-сетевого решения

От коммутаторов зданий уровня L2 – КП L2 до помещений абонентов в зданиях сигнал передачи данных доводится посредством электрических кабелей категории 5. Телевизионный сигнал кабельного телевидения (CATV) доводится до зданий от студии кабельного телевидения, находящейся в помещении узла связи посредством выделенных волокон в проложенных ВОК.

Оптические приемники, находящиеся в зданиях, преобразуют оптический сигнал, приходящий по ВОК, в электрический сигнал кабельного телевидения и обеспечивают необходимый уровень сигнала для подачи его абонентам по кабельной сети зданий через сплиттеры. Оптические приемники подключаются к передатчику, находящемуся в студии CATV, посредством оптических сплиттеров (пассивных разветвителей), находящихся в одном из зданий вблизи скопления абонентов. При таком способе доступа в помещениях абонентов также могут располагаться устройства, обеспечивающие доступ к услуге Triple Play.

Заключение

Основные преимущества предложенной в данной статье пассивной оптической сети с волновым разделением сводятся к следующему.

1. Предлагаемая [6] сеть WDM-PON обеспечивает существенное, по сравнению с прототипом GPON, повышение пропускной способности в каждом сегменте и существенное повышение эффективности использования оптоволокна в пассивной оптической инфраструктуре. При использовании самой дешевой технологии волнового мультиплексирования CWDM и использовании всего 16-ти длин волн из сетки CWDM, при скорости в прямом и обратном канале ($V_{кан}$) каждого узла 2,5 Гбит/с (как в выбранном прототипе), суммарная скорость в пассивной сетевой инфраструктуре предлагаемой сети $V_{\Sigma} = 16 \cdot V_{кан} \cdot 2 = 80$ Гбит/с (в выбранном прототипе – в GPON данное значение составляет всего 5 Гбит/с).

2. Каждым оконечным узлом предлагаемой сети монополизируется весь канальный ресурс пропускной способности выделенного на его длине волны канала, что существенно улучшает показатели качества обслуживания трафика в предлагаемой сети.

3. В предлагаемой сети достигается удвоение емкости (числа присоединяемых узлов) по сравнению с применением традиционных технологий волнового уплотнения, за счет разделения направлений передачи не по длинам волн (как в традиционных системах), а по направлениям распространения светового потока. В случае предлагаемой сети для подключения каждого узла потребуется всего одна длина волны, а не две, как в традиционных WDM-системах.

4. В предлагаемой пассивной сети обеспечивается полная логическая прозрачность в выделенных каналах и не требуется присоединения к пакетам (кадрам) информации каких-либо дополнительных заголовков, как в прототипе. Кроме этого, отсутствует зависимость пропускной способности на уровне узла от числа узлов, включенных в сегмент сети, и от разброса длин абонентских линий.

5. В предлагаемой [6] пассивной сети используется волновое разделение, и могут быть использованы серийно выпускаемые отечественные элементы ВОС – оптические приемопередатчики, оптические мультиплексоры-демультиплексоры, оптические циркуляторы и разветвители, а также отечественные коммутаторы пакетов информации, в том числе имеющие специальные сертификаты соответствия, прошедшие специальные проверки и специальные исследования. Это исключает возможность (или сводит вероятность данных событий к минимуму) наличия в составе оборудования предлагаемой сети недекларируемой функциональности, что обеспечивает повышенную информационную безопасность в предлагаемой сети, по отношению к прототипу, [6] выполняемому на основе импортных сверхбольших интегральных схем (СБИС).

6. Предлагаемая пассивная сеть имеет увеличенный (по сравнению с прототипом) радиус покрытия, который определяется бюджетом мощности выбранных оптических приемопередатчиков (трансиверов). Например, при использовании трансиверов, с максимальной дальностью передачи в схеме «точка-точка» до 80 км, в построенном в филиале ЛО ЦНИИС экспериментальном образце предлагаемой пассивной сети был достигнут радиус покрытия в схеме

«точка-много точек» не менее 40 км (в то время как в прототипе эта величина составляет всего 20 км).

7. Предлагаемая сеть имеет повышенную (в сравнении с прототипом) надежность. Это достигается, прежде всего, потому, что при отказе единственного приемопередатчика (одного из ненадежных элементов) в центральном узле дерева PON прототипа GPON будет отсутствовать связь всех абонентов рассматриваемого дерева (сегмента), а в предлагаемой сети отказ одного из приемопередатчиков в OLT приведет лишь к пропаданию связи всего с одним из абонентов (узлов).

К недостаткам предложенного решения можно отнести необходимость применения для подключения одного узла (абонента) двух оптических приемопередатчиков, что существенно повышает капитальные затраты и ограничивает применение предложенной технологии для FTTN-решений.

Поэтому наиболее эффективным представляется применение предложенной технологии для решений класса FTTB, особенно в тех случаях, когда ощущается нехватка волокон в уже проложенных кабелях, а требуется проводить расширение сети доступа.

Литература

1. Никульский И. Е. Технологии PON: вчера, сегодня, завтра // Вестник связи. 2009. № 3. С. 23–27.
2. Никульский И. Е., Филиппов А. А. Технологии PON: взгляд в будущее // Вестник связи. 2010. № 2. С. 4–8.
3. Комашинский В.И., Никульский И. Е., Степуленок О.А. Горизонты WDM-PON // Вестник связи. 2011. № 9. С. 34–38.
4. Никитин А. В., Пяттаев В. О., Никульский И. Е., Филиппов А. А. Концепция построения мультисервисной сети оператора связи // Вестник связи. 2010. № 5. С. 47–49.
5. Никульский И. Е. Модель оптической сети доступа GPON // Вестник связи. 2011. № 2. С. 49–50.
6. Никульский И. Е., Степуленок О. А., Чекстер О. П. Широкополосная пассивная оптическая сеть с волновым разделением // Патент на изобретение № 2537965. 25.04.2013.

References

1. Nikulskiy, I. PON Technologies: Yesterday, Today, Tomorrow // Vestnik svyazi. 2009. No. 3. pp. 23–27.
2. Nikulskiy, I., Filippov, A. PON Technologies: A Look into the Future // Vestnik svyazi. 2010. No. 2. pp. 4–8.
3. Komashinskiy, V., Nikulskiy, I., Stepulenok, O. WDM-PON Horizons // Vestnik svyazi. 2011. No. 9. pp. 34–38.
4. Nikitin, A., Pyattaev, V., Nikulskiy, I., Filippov, A. Концепция построения мультисервисной сети оператора связи // Vestnik svyazi. 2010. No. 5. pp. 47–49.
5. Nikulskiy, I. Optical Access Network Model GPON // Vestnik svyazi. 2011. No. 2. pp. 49–50.
6. Nikulskiy, I., Stepulenok, O., Chekster, O. Broadband Passive Optical Network with Wave Separation // Invention Patent № 2537965. 25.04.2013.

Вандич Алексей Павлович

– кандидат технических наук, начальник лаборатории, ЛО ЦНИИС, Санкт-Петербург, 196128, Российская Федерация, vandich@loniis.org

Ефимов Вячеслав Викторович

– кандидат технических наук, доцент, ЛО ЦНИИС, Санкт-Петербург, 196128, Российская Федерация, vve@loniis.ru

Никульский Игорь Евгеноевич

– доктор технических наук, доцент, главный специалист, ОАО «ЦНПО» Ленинец», Санкт-Петербург, 196066, Российская Федерация, i.nikulsky@npo-leninetz.ru

Степуленок Олег Александрович

– ведущий инженер, ОАО «ЦНПО» Ленинец», Санкт-Петербург, 196066, Российская Федерация, ostepulenok@mail.ru

Vandich Aleksey

– Candidate of Engineering Sciences, Head of Laboratory, LO ZNIIS, St. Petersburg, 196128, Russian Federation, vandich@loniis.org

Efimov Vyacheslav

– Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor, LO ZNIIS, St. Petersburg, 196128, Russian Federation, vve@loniis.ru

Nikulskiy Igor

– Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Chief Specialist, JSC "CSPA "LENINETZ", St. Petersburg, 196066, Russian Federation, i.nikulsky@npo-leninetz.ru

Stepulenok Oleg

– leading engineer, JSC "CSPA "LENINETZ", St. Petersburg, 196066, Russian Federation, vit.petrov@gmail.com