

# Методы контроля технического состояния волоконно-оптической линии сети доступа

Берганов И.Р. (ГУП «UNICON.UZ»), Туляганова Ш.А. (ТУИТ)

*В данной статье приводится обзор методов контроля технического состояния волоконно-оптической линии связи в период её эксплуатации.*

*Ушбу мақолада оптик-тоғали алоқа линиясини эксплуатация қилиш жараёнида унинг техник ҳолатини назорат қилиш методлари берилган.*

*This article provides an overview of methods for monitoring the technical condition of the fiber-optic link during its use.*

## **Обоснование актуальности вопроса и постановка задачи.**

Возросшие потребности пользователей телекоммуникационных услуг привели к необходимости модернизации сетей доступа. Появилась необходимость в создании сетей широкополосного доступа (ШПД) для передачи широкого набора услуг (видео, голос, данные). В этой связи к сетям ШПД были предъявлены ряд высоких требований в отношении полосы пропускания каналов (обеспечение передачи сигналов со скоростью до 10 и даже 40 Гбит/с), надежности, качеству передачи сигналов, информационной безопасности, доступа в Интернет и др. Было предложено большое количество вариантов построения проводных и беспроводных сетей ШПД.

Из проводных сетей ШПД наибольшее распространение получили технологии xDSL, DOCSIS и FTTH. Технология xDSL явилась наиболее удачной, позволяющей использовать абонентские линии (медножильные кабели) существующей телефонной сети. Буква «x» в её обозначении означает конкретный вид её разновидности (HDSL, SDSL, ADSL, VDSL, UADSL). Эти

технологии обеспечивают: максимальное расстояние доступа в пределах [1] 1,5 – 6 км, максимальную скорость (прием/передача) в пределах от 1,5 Мбит/с / 384 кбит/с (UADSL) до 65 Мбит/с / 35 Мбит/с (VDSL).

Линии абонентского доступа из медножильных кабелей по сравнению, например, с линиями с использованием волоконно-оптических кабелей оказались более уязвимы в отношении информационной безопасности [2].

Технология DOCSIS (Data Over Cable Service Interface Specifications) использует инфраструктуру кабельного (коаксиального) телевидения. Она осуществляет передачу данных абоненту с максимальной скоростью до 42 Мбит/с (при ширине полосы пропускания 6 МГц) и получение данных от абонента со скоростью до 10,24 Мбит/с. Имеется несколько версий спецификации DOCSIS, отличающихся скоростью передачи данных «сверху вниз» (максимальная скорость до нескольких сотен мегабит в секунду), «снизу вверх» (до 120 Мбит/с) и полосой частот [1].

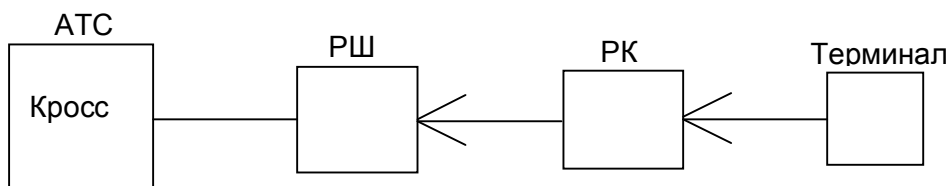


Рис. 1. Модель участка сети доступа

Технология FTTx (Fiber to the x) – оптическое волокно до точки «х». Волоконно-оптический доступ может быть реализован разными способами. Например, точка «х» находится в распределительном шкафу РШ (рис. 1), тогда имеем FTTC (Fiber to the Curb) – волоконно-оптический кабель проложен от АТС до распределительного шкафа (одного на несколько зданий), далее сигналы до абонентов передаются по существующей сети на медножильных кабелях; если точка «х» находится в квартире абонента, то имеем FTTH (Fiber to the Home) – оптический кабель доводится до квартиры (до терминала) абонента.

FTTH является перспективной технологией. Она может обеспечивать: весьма широкую полосу пропускания на расстоянии до 20 км от узла связи (АТС), скорость доступа для абонента до нескольких гигабит в секунду, что вполне удовлетворяет выше отмеченным требованиям. Для предоставления мультисервисных услуг FTTx хорошо сочетается с xDSL [1].

В последние годы интенсивно развивается технология пассивной оптической сети (Passive Optical Network, PON). Построение сетей PON требует меньших финансовых затрат. Преимущество PON заключается в использовании оптических разветвителей благодаря которому одна волоконно-оптическая линия способна обслужить ряд многоэтажных строений. К другим преимуществам PON относятся [3]:

- отсутствие промежуточных активных узлов;
- простота сопряжения с любым внешним оборудованием;
- высокая гибкость при развитии и наращивании сети;
- повышенная надежность;
- относительно недорогое оборудование центрального узла, абонентского устройства и не требующая обслуживания инфраструктура широкополосного доступа;
- одно оборудование центрального узла обслуживает несколько десятков абонентов, удаленных на расстояние до 20 км.

Как отмечено в [1, 4] «по числу абонентов, использующих проводной ШПД, первое место в мире сейчас занимает технологии xDSL, второе – DOCSIS и третье – оптоволокно (FTTx). Однако в перспективе, как показывает динамика их развития, лидерство перехватит FTTx».

Выше было отмечено, что оптические кабели могут использоваться в сети доступа частично и даже на всех её участках. Последний вариант является более перспективным и уже применяется. На рис. 2 и 3, для примера, приведены варианты фрагментов сети доступа полностью использующие, как среду передачи сигналов, оптические кабели (ОК).

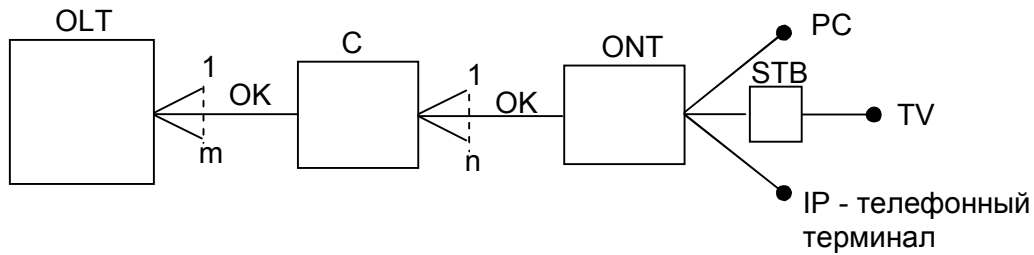


Рис. 2. Участок сети доступа использующий технологию GPON (OK – оптический кабель)

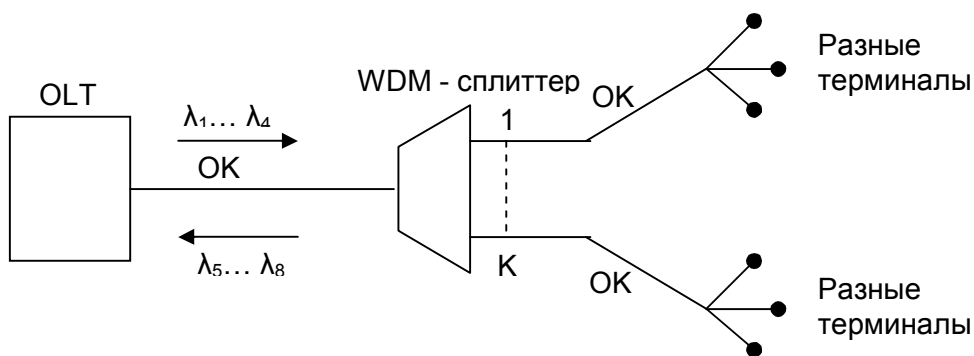


Рис. 3. PON с использованием спектрального мультиплексирования

На рис. 2 [5] приведен фрагмент пассивной оптической сети доступа. На центральном узле установлено оборудование OLT (Optical Line Termination), обеспечивающее высокоскоростную (10 G Ethernet) передачу сигналов. В OLT включены  $N_c$  сегментов GPON (Gigabit Passive Optical Network), объединяющих по  $N$  абонентов. Сегменты GPON представляют собой пассивные шинные моноканалы с  $N+1$  линиями, включенными в пассивные разветвители (C), расположенные в узлах широкополосной сети доступа. Каждая из  $N$  линий терминируется оконечными устройствами ONT (Optical Network Termination), находящимися в помещениях абонентов. К ONT под-

ключаются абонентские установки: TV – телевизионные, IP – приставки STB (Set Top Box), IP – телефонные терминалы, персональные компьютеры (PC). Абонентский трафик передается через сегмент PON как в нисходящем (нисходящая ветвь), так и в восходящем (восходящая ветвь) направлениях.

В современных PON [6] на физическом уровне для разделения восходящего (длина волны 1310 нм) и нисходящего (1490 нм) потоков, а также, например, для организации дополнительного наложенного канала (1555 нм) для видеосигналов используется технология WDM (мультиплексирование по длине волны (рис. 3)).

Судя по приведенным схемам ясно, что от надежности (работоспособности) и от показателей оптических волокон кабеля, характеризующих качество их функционирования, зависит надежность и качество оказания телекоммуникационных услуг большому количеству абонентов.

Как видно из выше изложенного, для передачи широкополосных сигналов волоконно-оптический кабель вне конкуренции. Поэтому в данной статье, учитывая особенности и перспективы применения волоконно-оптических кабелей на сетях доступа, ставится задача рассмотреть существующие методы контроля их технического состояния в условиях эксплуатации. Результаты контроля могут быть использованы в различных целях, в частности, для повышения эффективности технического обслуживания, а тем самым и повышения эксплуатационной надежности волоконно-оптических линий передачи.

**Факторы, влияющие на оптический кабель.** При строительстве волоконно-оптических линий связи (ВОЛС) сети доступа могут использоваться различные методы прокладки оптического кабеля: непосредственно в грунт, в трубопроводы из полимерных материалов, подвеска кабеля на опорах, возможны и другие варианты. Более экономичным вариантом является подвеска кабеля на опорах. При этом создаются весьма удобные условия для осмотра кабельной линии, обнаружение каких-либо отклонений от требуемого состояния кабеля, проведения ремонтно-восстановительных работ. Однако, кабель, подвешенный на опорах, в отличие от его подземной прокладки, в большей степени подвержен воздействию внешних факторов. К основным из них относятся:

колебания кабеля, вызванные природными явлениями, ветровые нагрузки;

увеличение физических нагрузок на кабель (натяжение кабеля) из-за наклона опор;

повреждение кабеля злоумышленниками;

температурное воздействие на кабель (изменение температуры среды подвески кабеля в широких пределах: днем влияние солнца, прохлады в ночное время).

Как отмечено в [7] наибольшую опасность для оптических волокон представляют влага и механические напряжения. Прочность волоконных световодов зависит от многих факторов, основными из которых является наличие поверхностных и объемных дефектов и трещин, возникающих в основном вследствие дефектов заготовок. Модели разрушения оптических волокон строятся на основе эмпирического представления о степенной зависимости скорости развития микротрещин  $V$  от коэффициента интенсивности растягивающих напряжений  $K$  в их вершинах:

$$V = A \cdot K^n,$$

где,  $n$  – параметр сопротивления усталостному старению;

$A$  – константа, зависящая от параметров материала и окружающей среды.

В процессе эксплуатации параметры конструктивных элементов кабеля изменяются под воздействием выше перечисленных и других факторов. Например, деградация защитных покрытий кабеля повлияет на процесс проникновения влаги к оптическому волокну, что в конечном счете приведет к ухудшению качественных показателей световода. Структура световода весьма чувствительна к механическим воздействиям: изгибам, осевым закручиваниям, продольным растяжениям и др. Любое из этих воздействий приводит к ухуд-

шению передаточных параметров оптического волокна.

подавляющее большинство выше названных воздействий носит случайный (вероятностный) характер. Поэтому для своевременного обнаружения ухудшения характеристик волокна (кабеля) желательно обеспечить непрерывный или периодический (через малые промежутки времени) контроль технического состояния кабеля и его активных волокон.

**Методы тестирования ВОЛС.** В настоящее время для измерения характеристик ВОЛС используются различные специальные приборы [8]. Так, в период их технического обслуживания для контроля затухания оптических сигналов используются работающие во временной области оптические рефлектометры (Optical Time-Domain Reflectometers - OTDR) и оптические тестеры (Optical Loss Test Sets - OLTS). При аварийных измерениях место и характер повреждения кабеля определяют с помощью визуального дефектоскопа (VFL) и OTDR. В ходе обслуживания ВОЛС измеряют возвратные потери посредством соответствующего анализатора или OTDR. В необходимых случаях для контроля спектра оптического сигнала используется оптический анализатор спектра (Optical Spectrum Analyzer - OSA), а для измерения значений дисперсии – анализаторы дисперсии.

Для обслуживания сети PON имеются специальные измерители мощности оптического сигнала. Заметим, что использование оптического тестера не позволяет определить место неисправности волоконно-оптической линии. Поэтому для технического обслуживания ВОЛС в основном используются OTDR, который отображает на рефлектограмме неоднородности и повреждения в волокне, что обес-

печивает полноценную диагностику волокна при подключении его только с одного конца. Одними из положительных свойств OTDR являются наличие в нем автоматических режимов измерений, а также функций накопления и обработки результатов измерений.

Для анализа сетей доступа имеются OTDR с меньшими мёртвыми зонами, оптимизированные для работы с сетями PON. Они позволяют протестировать сквозное соединение в сети PON (от ONT до OLT). К таким OTDR относятся, например, портативные рефлектометры серии MT9083 ACCESS Master компании Anritsu. Модель MT9083C (с динамическим диапазоном до 45 дБ) позволяет проводить рефлектометрические измерения на сети PON через разветвители, имеющие до 128 выводов. В этой модели предусмотрены и дополнительные функции OLTS, VFL, видеомикроскопа и IP – тестирования.

Учитывая, то обстоятельство, что в оптическом волокне передается значительный объём трафика, вопросам повышения эксплуатационной надежности ВОЛС уделялось большое внимание. Так, в целях уменьшения времени простоя при возникновении неисправностей и авариях, а также для повышения эффективности системы технического обслуживания ВОЛС создана система удаленного тестирования оптических волокон (Remote Fiber Test Systems - RFTS), обеспечивающие непрерывный мониторинг волокон с помощью OTDR и в случае возникновения неисправностей выдающие управляющему работой ВОЛС оператору, информацию о месте и характере неисправности [9].

Аппаратурную часть RFTS составляют блоки дистанционного тестирования волокон, в которые устанавливаются модули оптиче-

ских рефлектометров, модули доступа для тестирования волокон – оптические коммутаторы и другие модули, центральный блок управления системой RFTS – центральный сервер, станции контроля сети ONT (Optical Network Terminal). На основе данных мониторинга сети при помощи RFTS можно проводить плановый и профилактический ремонт кабеля в сети, не дожидаясь появления существенных его повреждений.

Система RFTS повышает безопасность сети, так как любое несанкционированное подключение к волокну приводит к дополнительным потерям мощности передаваемых сигналов, что будет обнаружено и зафиксировано системой. Таким образом, система RFTS позволяет обслуживающему персоналу в реальном масштабе времени (практически мгновенно) узнавать, где произошел сбой и каков уровень потерь в волокне кабеля. Это значительно сокращает время поиска неисправностей.

Как отмечено в [9] «в системе RFTS можно реализовать различные схемы и методы наблюдения за состоянием волокон и кабеля. Свыше 90% неисправностей связаны с повреждением кабеля в целом и будут обнаружены, если тестируется хотя бы одно оптическое волокно в кабеле. Это означает, что при относительно невысоких требованиях к надежности ВОЛС можно постоянно вести тестирование только одного волокна в кабеле.

Важнейшей функцией системы RFTS является то, что она постоянно автоматически ведет сбор и статистический анализ результатов тестирования оптических волокон сети. Статистический анализ с использованием корреляционных, многофакторных методов, а также современных нейросетевых методов дает возможность обнаружи-

вать и прогнозировать неполадки волокна задолго до того, как они приведут к серьезным проблемам в сети». Ещё одной особенностью системы RFTS является её весьма высокая стоимость.

В работе [10] приводится метод контроля сети доступа заключающийся в том, что оптический рефлектометр подключается непосредственно к линии и подбирается нужный шаблон из памяти. Прибор сравнит полученный результат измерений с шаблоном и даст заключение о состоянии линии. В случае неисправности линии прибор определит причину и локализует повреждение.

Преимущество Test Station по сравнению с обычной функцией локатора заключается в том, что благодаря шаблону локатор уже настроен на параметры поврежденного кабеля – выбран нужный диапазон измерений. Таким способом исключаются ложные срабатывания функции локатора.

В целях прогнозирования отказов оптического волокна в работах [11, 12] предлагается дистанционно контролировать дефекты оболочки волокна. Дело в том, что применяемые при эксплуатации ВОЛС оптические рефлектометры обратного релеевского рассеяния, измеряющие уровни зондирующего оптического сигнала в линии, позволяют оценивать только состояние сердцевины оптического волокна и не могут выявлять дефекты оболочки световода.

При поверхностном дефекте оболочки, когда глубина дефекта настолько мала, что он не влияет на потери мощности передаваемого в сердцевине волокна оптического сигнала. Поэтому по результатам измерений обычным импульсным оптическим рефлектометром нет возможности определить влияние дефектов оболочки

на потери мощности передаваемых сигналов.

Микротрещины на поверхности оболочки волокна растут в процессе старения волокна из-за внешних механических и температурных воздействий под действием паров влаги.

Чтобы наличие микротрещины в оболочке привело к изменению мощности оптического сигнала передаваемого в сердцевине волокна, она должна вырасти до границы с сердцевиной.

К настоящему времени разработаны средства измерений, позволяющие выявлять на линии участки оптического волокна с дефектом в оболочке. Это оптические рефлектометры обратного бриллюэновского рассеяния – BOTDR (Brillouin Optical Time Domain Reflectometer). Прибор основан на измерении временной зависимости сдвига частот обратного рассеяния Мандельштама – Бриллюэна относительно частоты зондирующего оптического излучения. Прибор отличается высокими показателями – большим динамическим диапазоном при удовлетворительной разрешающей способности и предназначен для измерений с относительно малыми погрешностями. Основная причина, ограничивающая использование данного прибора в организациях, эксплуатирующих ВОЛС – очень высокая стоимость и, кроме того, его применение требует специалистов высокого уровня квалификации. Высокая стоимость BOTDR обусловлена жесткими требованиями к его характеристикам и выбором метода измерений, позволяющего их удовлетворить.

Как отмечено в [11] при некотором снижении уровня требований можно использовать более простую по сравнению с BOTDR технику рефлектометрических измерений. В частности [13], технику, основан-

ную на измерениях отношения Ландау-Плячека (LPR) или на измерениях на ближнем конце состояния поляризации сигнала обратного релеевского рассеяния.

Методы измерений LPR – отношения интенсивностей сигналов бриллюэновского и релеевского рассеивания, и способы их реализации хорошо известны [11]. Базовыми элементами рефлектометров, основанных на измерении LPR, являются узкополосный лазер и интерферометр Маха-Цандера.

В Поволжском государственном университете телекоммуникаций и информатики, как сообщается в [11], был предложен метод и разработан алгоритм, основанный на сравнении поляризационных характеристик обратного рассеяния оптического волокна, измеренных до и после повреждения волокна. Этот метод позволяет локализовать ближайший к измерителю значимый дефект оболочки световода, но далее за ним рефлектограмму «не видит».

Исследования, проведенные на лабораторных макетах приборов, реализующих указанные выше рефлектометрические методы измерения LPR и сравнения поляризационных характеристик обратного рассеяния оптического волокна, показали потенциальную возможность достижения желаемых требований по дистанционному обнаружению дефектов в оболочке оптического волокна при относительно небольших затратах.

**Заключение.** Из выше изложенного следует, что:

- вопросы контроля технического состояния волоконно-оптических линий связи сети доступа в период их эксплуатации являются весьма актуальными;
- к настоящему времени разработаны методы и коммерческие системы контроля волоконно-оптических линий связи, в том чис-

ле и для сетей доступа. Однако их высокая стоимость и потребность в высококвалифицированных специалистах для их эксплуатации приводят к некоторым затруднениям их использования;

- ещё не доведены до практического использования методы прогнозирования технического состояния оптических волокон (и кабеля) путем дистанционного контроля дефектов оболочки волокон;

- пока нет упрощенной и дешевой коммерческой автоматизированной системы непрерывного контроля и прогнозирования технического состояния оптических линий сети доступа, с помощью которых можно было бы решать задачи повышения эффективности технического обслуживания оптических линий связи, обеспечивать высокую эксплуатационную надежность оптической сети доступа и её безопасность.

### **Литература**

1. Аджемов С.С., Урядников Ю.Ф. Технологии широкополосного доступа: динамика и перспективы развития // Электросвязь. -2011. - №1. –С.19-23.
2. Хорев А.А. Средства перехвата информации с проводных линий связи // Защита информации. INSIDE. -2011. -№1. –с. 22-32.
3. Лукин И.А., Зубарев В.К. Новые технические решения для сетей доступа // Вестник связи. - 2006. -№1. - с. 27-29.
4. Системы оптического доступа следующего поколения. По материалам журнала New Breeze // Век качества. -2011. -№6.- с. 46-47.
5. Никульский И.Е. Модель оптической сети доступа GPON // Вестник связи. -2011. -№2. – с. 49-50.
6. Пфайфер Т., Рингут Э., Гренджер А. Оптические сети-путь к высокоскоростному широкополосному доступу // Технологии и средства связи. -2005. -№4. –с. 28-33.
7. Овчинникова И. Определение надежности оптических кабелей // Технологии и средства связи. -2009. -№3. –с. 39-41.
8. Конова Е., Шельгов В. Многоликие средства тестирования ВОЛС // Connect. -2010 -№8. –с. 90-92.
9. RFTS –Системы мониторинга ВОЛС (решения) Тералинк. <http://www.teralink.ru>.
10. Столяров В.С., Горохов В.Н., Скаковский В.А. Test Station // Вестник связи. -2010. -№8. –с. 23-25.
11. Бурдин В.А., Дмитриев Е.В. Методы и средства локализации дефектов волокна в строительных длинах оптического кабеля // Вестник связи. -2010. -№7. –с. 19-21.
12. Бурдин В.А., Дмитриев Е.В. Локализация дефектов оболочки волоконного световода на коротких длинах оптического волокна // Инфокоммуникационные технологии. -2010. –Том 8.- №3. –с. 34-37.
13. Alasaarela I., Karioja P., Kopola H. Comparison of Distributed fiber optic sensing methods for location and quantity information measurements // Opt. Eng. V.41 (1). 2002. –PP.181-189.

