

УДК 621.395

ПОСТРОЕНИЕ СИСТЕМЫ УДАЛЕННОГО МОНИТОРИНГА ОПТИЧЕСКИХ КАБЕЛЕЙ НА ТРАНСПОРТНЫХ СЕТЯХ ОПЕРАТОРОВ СВЯЗИ

Е.Б. Алексеев, начальник научного отдела МТУСИ, д.т.н.; aeb@srd-mtuci.ru

В.А. Бурдин, проректор по научной работе ПГУТИ, д.т.н.

Д.А. Климов, зам. начальника НИЧ МТУСИ, к.т.н.

***Ключевые слова:** транспортные сети, техническая эксплуатация, ВОЛС, оптический кабель, система мониторинга оптических кабелей.*

Общие положения по технической эксплуатации транспортных сетей связи. Техническая эксплуатация (ТЭ) – основной вид производственной деятельности предприятий электросвязи, реализуемый посредством системы технической эксплуатации. ТЭ сети отдельного оператора представляет собой совокупность методов и алгоритмов технического обслуживания (ТО), которые обеспечивают организацию эксплуатации и поддержание в требуемых пределах установленных норм для любого объекта технической эксплуатации (ОТЭ).

Основная цель технической эксплуатации – минимизация как случаев возникновения, так и влияния отказов с тем, чтобы в случае отказа: *надлежащий* персонал мог быть направлен в *надлежащее* место с соответствующим оборудованием, имея *надлежащую* информацию, для проведения в *надлежащее* время надлежащих работ.

Система технической эксплуатации (СТЭ) транспортной сети оператора связи – это совокупность методов и алгоритмов технического обслуживания ОТЭ на сети, технические средства связи и программно-технические средства, а также технический персонал, обеспечивающий функционирование сети в соответствии с требуемыми качественными показателями [1, книга 2].

СТЭ транспортной сети строится по территориально-иерархическому принципу с числом иерархических уровней, определяемым конкретными условиями технической эксплуатации и масштабами обслуживаемой сети.

На всех иерархических уровнях СТЭ могут функционировать:

- системы оперативно-технического обслуживания (СОТО) – для цифровых транспортных сетей, организованных на основе ЦСП ПЦИ предыдущих поколений;
- центры технической эксплуатации (ЦТЭ) – для цифровых транспортных сетей, организованных на основе ЦСП СЦИ.

Техническая эксплуатация ЛКС ВОЛП производится в соответствии с требованиями [1, книга 3] и [2,3].

При проведении планово-профилактических, ремонтных и аварийно-восстановительных работ на ЛКС ВОЛП применяется специализированное оборудование – сварочные аппараты, оптические рефлектометры, локаторы электронных маркеров, специально оборудованные автомобили для монтажа и измерений ОК, специализированный монтажный инструмент и др. Для полноценного применения такого оборудования требуется квалифицированный персонал, постоянно поддерживающий соответствующие навыки технологического обслуживания. Для уменьшения эксплуатационных затрат в качестве основного метода обслуживания ЛКС ВОЛП рекомендуется использовать централизованный метод, предусмотренный для эксплуатации ВОЛП в соответствии с [1, книга 3, раздел 4].

Техническая эксплуатация ЛКС ВОЛП может осуществляться с участием персонала центра технической эксплуатации (ЦТЭ).

Организация ТО на ЛКС ВОЛП на основе системы мониторинга оптических волокон. В современной аппаратуре ВОЛП наиболее важную информацию для поиска неисправностей на этапе эксплуатации дает аварийная сигнализация.

С помощью служебного терминала можно осуществлять контроль уровней мощности входного и выходного оптического сигнала на выбранном оптическом стыке для ВОЛП ПЦИ и СЦИ. Эта информация может быть использована для текущего контроля системного запаса на каждом участке регенерации оптического тракта без прекращения связи. Величина системного запаса определяется как разница между текущим значением уровня мощности оптического излучения на приеме и паспортным значением чувствительности приемника [4].

При получении сигнала о повышении затухания на каком-либо участке регенерации с помощью рефлектометра, подключаемого к резервным волокнам оптического кабеля (ОК), определяют место повышенного затухания. Измерения рефлектометром проводятся многократно с периодичностью, зависящей от скорости возрастания затухания во времени (дБ/ч или дБ/сутки, или дБ/месяц).

На разветвленной сети ВОЛП рекомендуется применять систему мониторинга ОВ. При этом центральная станция мониторинга размещается в месте установки рабочей станции управления транспортной сетью ВОЛП (в ЦТЭ соответствующего уровня иерархии СТЭ). В промежуточных пунктах ВОЛП (ОРП или НРП) устанавливаются удаленные оптические модули, включающие в общем случае рефлектометр, оптический переключатель, оптические фильтры и устройства спектрального разделения/уплотнения оптических сигналов.

С помощью системы мониторинга ВОЛС может централизованно осуществляться ТО линейных ОК по рабочим или резервным ОВ. Такая система организации ТО более дорогостоящая, чем система с использованием аварийной сигнализации в аппаратуре ВОЛП, но более эффективна в случае применения на разветвленной сети. В качестве рефлектометров, применяемых для ТО линейных ОК, можно использовать оптические импульсные рефлектометры, осуществляющие диагностирование по обратному рэлеевскому либо по бриллюэновскому рассеиванию. Последний тип рефлектометров существенно дороже, но позволяет дополнительно контролировать причину роста локального затухания из-за механических напряжений в ОВ (например, из-за сдвига пород или остаточных напряжений после прокладки).

С целью более эффективной эксплуатации ЛКС ВОЛС транспортных сетей иерархия системы мониторинга оптических кабелей (СМОК) должна строиться по территориально-иерархическому принципу и соответствовать иерархии систем технической эксплуатации и управления транспортными сетями на всех уровнях. На каждом уровне иерархии, наряду с центрами технической эксплуатации (ЦТЭ) и рабочими станциями (РС) управления, должны быть организованы и центральные станции системы мониторинга (ЦСМ) параметров и показателей качества ВОЛС в процессе эксплуатации.

Интенсивное развитие волоконно-оптических сетей связи и необходимость обеспечения их безотказной работы выдвигают на передний план задачу централизованного документирования и контроля сетевого кабельного хозяйства с возможностями прогнозирования и минимизации времени устранения возникающих неисправностей. Наиболее эффективно данная задача решается с помощью автоматизированной системы удаленного тестирования ВОЛС (Remote Fiber Test System – RFTS) с программой привязки топологии сети к географической карте местности и базой данных об элементах сети и результатах ее тестирования. В такой

системе удаленное тестирование волокон выполняется с помощью модулей оптических рефлектометров OTDR (Optical Time Domain Reflectomet), характеризующих параметры ОВ по обратному рассеиванию распространяющейся в нем световой волны.

Характеристики СМОК, внедряемых на российском рынке. Системы мониторинга оптических кабелей (СМОК) – Remote fiber test systems (RFTS) – были представлены на российском рынке практически одновременно с внедрением одномодовых ВОЛП на магистральной и внутрилинейных сетях связи. Это, в первую очередь, Orion/QUESTFiber(GN Nettek) [5-13], AccessFiber (Agilent Technologies) [5-7], Atlas (Wavetek Wandel&Goltermann) [5-7,14], FiberVisor (EXFO) [6,7,15,16], Anritsu (Anritsu) [17], SmartLGX (Lucent Technologies) [5,6], OCN-MS (Nicotra System) [5,6,18,19], FiberTest (НИИТ, г. Минск) [20], «Фотон» (НПЦ «Спектр», г. Самара) [21,22]. Перечисленные системы мониторинга условно можно разделить на две группы. К первой группе следует отнести системы, разработанные производителями оптических рефлектометров, – ORION/QUESTFiber, AccessFiber, Atlas, FiberVisor, Anritsu. Данные системы в большей мере были ориентированы на контроль разветвленной волоконно-оптической сети связи с размещением оборудования в обслуживаемых пунктах, связанных между собой альтернативными оптическими средствами связи.

Ко второй группе относятся системы, разработанные фирмами, специализирующимися на создании систем обслуживания линейных сооружений связи, – SmartLGX, OCN-MS, FiberTest, «Фотон». Данные СМОК были разработаны для контроля протяженных линейно-кабельных сооружений связи и предусматривали размещение оборудования в необслуживаемых пунктах, связь между которыми осуществлялась по служебным каналам, организуемым по контролируемой линии. В отличие от систем первой группы, они позволяли контролировать не только характеристики ОВ, но и другие параметры линейного тракта: сопротивление изоляции ОК, открытие дверей и люков, температуру и влажность в необслуживаемых помещениях и т.п. В дальнейшем, по мере развития систем мониторинга, различия между данными группами нивелировались. Уже к началу 2000-х годов функциональные возможности, принципы работы и структура всех перечисленных систем мониторинга стали достаточно близки. Отличия касались, в основном, интерфейса, формы представления данных, организации связи, конкретных технических решений.

Все СМОК строятся по одной и той же схеме, которая включает аппаратную часть, систему управления, а также интегрированные элементы: геоинформационную систему (ГИС) привязки топологии сети к карте местности, базы данных ОК, оборудования сети, критериев и результатов тестирования ОК ВОЛС и сети в целом, а также другие внешние базы данных.

Аппаратная часть состоит из блоков дистанционного тестирования волокон RTU (Remote Test Unit), в которые могут устанавливаться модули OTDR, модули доступа для тестирования волокон OTAU (Optical Test Access Unit), оптические коммутаторы и другие модули, центральный блок управления TSC (Test System Control) системой RFTS – центральный сервер, станции контроля сети ONT (Optical Network Terminal).

Элементами системы управления RFTS являются: станции контроля сети ONT (notebook или стационарные рабочие станции); соответствующее программное обеспечение; блоки управления в RTU; центральный блок управления

TSC и сетевое оборудование, обеспечивающее связь между компонентами управления RFTS.

В стратегически важных точках сети устанавливаются блоки RTU. Конфигурация системы RFTS (выбор блоков RTU, их размещение по узлам сети и комплектация модулями OTDR, ОТАУ и др.) оптимизируется исходя из топологии сети, стоимости оборудования, требований по надежности системы RFTS и других критериев. При этом тестироваться могут как пассивные волокна ВОЛС (метод тестирования пассивных оптических сетей), так и активные волокна (метод тестирования активных оптических сетей).

Оптический рефлектометр периодически снимает данные по затуханию с подключаемых к нему ОВ. Каждая полученная рефлектограмма сравнивается с эталонной, отражающей обычно исходное состояние волокна. Если отклонение от нормы превышает определенные, заранее установленные пороги (предупреждающий или аварийный), то соответствующий блок RTU автоматически посылает на центральный сервер системы предупреждение или сообщение о неисправности. Все рефлектограммы также поступают на центральный сервер, который сохраняет их в базе данных для дальнейшей обработки. Центральный сервер системы обеспечивает доступ ко всем результатам тестирования ОВ для любой станции контроля сети и автоматически рассылает сообщения о неисправностях в зависимости от уровня серьезности события на заранее заданные IP- или электронные адреса, пейджеры и телефоны, узлы обслуживания ВОЛС.

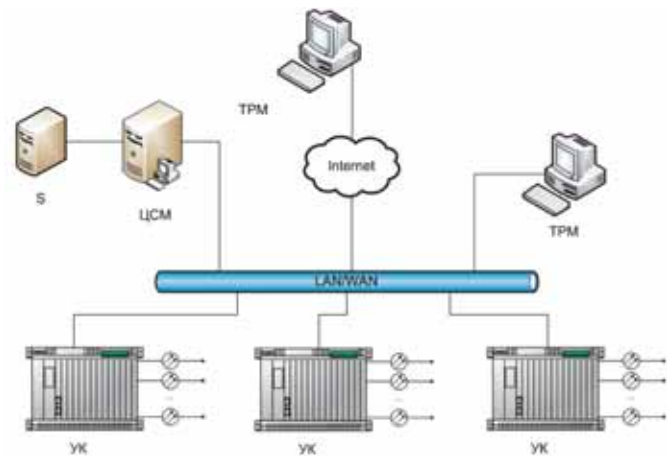
Важнейшая функция СМОК – постоянный автоматический сбор и статистический анализ результатов тестирования ОВ. Статистический анализ с использованием корреляционных, многофакторных, а также современных нейросетевых методов дает возможность обнаруживать и прогнозировать неполадки в волокне задолго до того, как они приведут к серьезным проблемам в сети. На основе мониторинга сети при помощи RFTS можно проводить плановый и профилактический ремонт ОК в сети, не дожидаясь появления серьезных повреждений и аварий в кабельной системе.

СМОК значительно повышает безопасность сети: любое несанкционированное подключение к ОВ, неизбежно приводящее к дополнительным потерям в оптическом канале, будет обнаружено и зафиксировано системой в реальном масштабе времени.

Другое не менее важное качество СМОК – графическое представление информации о состоянии сети. На центральном сервере системы установлена профессиональная ГИС, которая содержит точную электронную карту расположения цифровой сети на местности. Вся информация о состоянии сети и документация по ОК хранится в базе данных SQL и может быть графически представлена на карте. Также на нее выводится полная информация о неисправностях волокон в ОК, включая их точное физическое местоположение.

Таким образом, СМОК позволяет обслуживающему персоналу в реальном масштабе времени (практически мгновенно) узнавать, где произошел сбой и каков уровень потерь в волокне ОК ВОЛС. Это намного сокращает время поиска неисправностей и упрощает проведение профилактического обслуживания кабельной линии.

В СМОК можно реализовывать различные схемы и методы наблюдения за состоянием волокон и ОК. Свыше 90% неисправностей связаны с повреждением ОК в целом и будут обнаружены, если тестируется хотя бы одно ОВ в кабеле. Это означает, что при относительно невысоких требованиях к надежности ВОЛС можно постоянно вести тестирование только одного волокна в ОК.



Архитектура СМОК

Допускается тестирование как «темных» волокон ОК, т. е. волокон, по которым не передаются данные цифровой сети связи в момент тестирования, так и активных волокон. При этом тестирование последних проводится на длине волны излучения вне рабочей полосы пропускания и не влияет на качество передачи. Однако для тестирования активных волокон требуется установка на ВОЛС спектральных мультиплексоров WDM (Wavelength Division Multiplexer) и обводных фильтров. Поэтому метод тестирования активных ОВ в сети требует больших затрат и имеет смысл применять его только для волокон, на которых установлены цифровые системы передачи с особо важными каналами повышенной надежности, или в случае отсутствия темных волокон в ОК.

Возможны различные конфигурации СМОК и разные варианты тестирования волокон: одно темное волокно ОК, все волокна ОК, выделенные активные (самые важные) волокна ОК и т. д.

Архитектура построения и состав оборудования СМОК при внедрении на транспортных сетях связи. СМОК, являющаяся одной из составляющих СПЭ транспортной сети, должна также строиться по территориально-иерархическому принципу с числом иерархических уровней, определяемых конкретными условиями технической эксплуатации и масштабами обслуживаемой сети. С учетом масштабности и протяженности транспортных сетей оператора связи федерального значения может быть организовано от одного до четырех уровней иерархии СМОК:

- федеральный, с местом расположения в составе ЦТЭ всех транспортных сетей;
- региональный, с местом расположения в составе ЦТЭ транспортных сетей региона (субъекта федерации);
- зонный (узловой), с местом расположения в составе ЦТЭ зонных сетей и соединительных линий (например, в областном центре);
- местный, с местом расположения в составе ЦТЭ местных сетей соединительных линий и оптических сетей доступа (например, в районном центре).

На каждом из уровней иерархии организуется мониторинг всех параметров и показателей качества ВОЛС сетей связи оператора данного уровня. Состав и характеристики СМОК на каждом уровне иерархии определяются количеством и протяженностью элементарных кабельных участков (ЭКУ) ВОЛС.

Кроме того, должна быть предусмотрена сквозная передача данных о состоянии ВОЛС по результатам мониторинга

с каждого ниже стоящего уровня иерархии на вышестоящий по запросу от последнего выборочно (по тем или иным параметрам, с того или иного участка обслуживания) или полностью, а также автоматически (в случае серьезной аварии).

Архитектура СМОК на каждом иерархическом уровне, кроме верхнего (федерального), имеет вид, показанный на рисунке. При этом выделяют следующие функциональные элементы и устройства:

- аппаратную часть (АМОК);
- систему управления;
- интегрированные элементы.

Последние включают:

- геоинформационную систему привязки топологии сети к карте местности;
- базы данных ОК, оборудования сети, критериев и результатов тестирования ОК ВОЛС и сети в целом, другие внешние базы данных.

АМОК в соответствии с требованиями технического задания включает:

- удаленные комплекты (УК), в которые могут устанавливаться модули OTDR, модули доступа для тестирования волокон ОТАУ, оптические коммутаторы и другие модули;
- центральную станцию системы мониторинга (ЦСМ);
- серверы (S);
- терминалы рабочих мест (ТРМ).

Все компоненты АМОК на каждом иерархическом уровне объединены сетью передачи сигналов контроля и управления (LAN/WAN).

ЦСМ на региональном и зоновом уровнях имеют дополнительный стык для обмена сигналами контроля и управления с вышестоящим и нижестоящим иерархическими уровнями.

ЦСМ на федеральном уровне имеет стык для обмена сигналами контроля и управления только с нижестоящим иерархическим уровнем. ЦСМ на местном уровне имеет дополнительный стык для обмена сигналами контроля и управления с вышестоящим иерархическим уровнем.

Диагностика состояния ОВ на контролируемых участках ВОЛС осуществляется с помощью оптических рефлектометров в составе УК. Результаты диагностики передаются по сети передачи данных в ТРМ и ЦСМ для обработки и принятия решения об обнаружении тех или иных событий и осуществления централизованного мониторинга ВОЛС транспортных сетей на соответствующем иерархическом уровне. Особенность оптических рефлектометров заключается в том, что они могут быть использованы для диагностики одновременно только одного ОВ и в пределах только одного ЭКУ — участка ВОЛС между соседними промежуточными пунктами. Чтобы максимально возможно сократить количество применяемых УК (достаточно дорогого по стоимости комплекта), в составе АМОК на каждом иерархическом уровне предусмотрено использование оптических коммутаторов, соединительных ОК («пигтейлов» и «патчкордов»), а также оптических разветвителей и /или оптических мультиплексоров 1:2. Оптические коммутаторы позволят диагностировать одним УК последовательно по времени несколько ОВ в кабеле или, в местах разветвления магистралей, несколько ОВ в нескольких кабелях. Оптические разветвители и соединительные оптические кабели позволяют осуществлять диагностику одним УК одновременно нескольких последовательных ЭКУ короткой протяженности (в пределах возможности УК) путем шунтирования аппаратуры промежуточных пунктов ВОЛС между двумя соседними ЭКУ.

ЛИТЕРАТУРА

1. РД «Правила технической эксплуатации первичной сети взаимовязанной сети связи Российской Федерации», кн. 1, 2, 3. — М. 1998 г.
2. РД 45.180-2001 «Руководство по проведению планово-профилактических и аварийно-восстановительных работ на линейно-кабельных сооружениях связи волоконно-оптической линии передачи». — М., ООО «Резонанс», 2001 г.
3. РД 45.047-99 «Линии передачи волоконно-оптические на магистральной и внутризональных первичных сетях ЕСС России. Техническая эксплуатация». Руководящий технический материал. — М., ООО «Резонанс», 2000 г.
4. **Алексеев Е.Б.** Проектирование и техническая эксплуатация цифровых волоконно-оптических систем передачи. Учебное пособие ИПК МТУСИ, ООО «Оргсервис-2000». — М., 2007, — 220 с.
5. **Бурдин В.А.** Современные способы контроля состояния оптических волокон на сетях связи // Телекоммуникационное поле регионов. — 1999. — №4. — С. 28–31.
6. **Попович—Касерес М.В., Ржевский П.С., Ржевский С.П.** Автоматизированные системы контроля состояния волоконно-оптических систем передачи информации // Фотон-Экспресс. — 2004. — №5 (37). — С.32–38.
7. **Шмалько А.В., Гаскевич Е.Б., Убайдуллаев Р.Р.** RFTS — системы мониторинга ВОЛС // ВКС. Connect. — 2001. — №1.
8. **Иванов А.Б.** Контроль соответствия в телекоммуникациях и связи. Часть I. — М.: Компания Сайрус Системс, 2000. — 376 с.
9. **Иванов А.Б., Соколов И.В.** Системы администрирования волоконно-оптических сетей // Вестник связи. — 1999. — №9. — С. 47–56.
10. Система администрирования волоконно-оптических сетей ORION/QUESTFiber // Рекламная информация компании Sygus Systems. — 2005.
11. **Некрасов С.Е.** Автоматический мониторинг ВОЛС на примере системы QUESTFiber производства компании NetTest // Фотон-Экспресс. — 2003. — №5 (31). — С. 18–20.
12. **Некрасов С.Е.** Система администрирования и автоматического мониторинга волоконно-оптических кабелей ORION/QUESTFiber // Вторая Всероссийская конференция «Современные технологии проектирования, строительства и эксплуатации линейно-кабельных сооружений». — Сборник трудов. Спб.: «ПЕТЕРКОН», 2003. — С. 118–123.
13. QuestFiber. Remote fiber testing for full service, emerging and next generation networks. — NetTest. — 2002. — P. 12.
14. Система дистанционного тестирования волокна Atlas // Рекламная информация компании Волестрой.
15. FiberVisor // Рекламная информация компании Metrotek.
16. Remote fiber test system FiberVisor. — Canada: EXFO Electrical Optical Engineering Inc., 2000. — P. 8.
17. Remote fiber test system. — USA: Anritsu, 2001. — P. 8.
18. OCN-MS Система мониторинга волоконно-оптической кабельной сети // Рекламная информация компании Nicotra Sistemi spa.
19. OCN-MS. Optical Cable Network Monitoring System. — Nicotra Sistemi spa, 1996. — P. 20.
20. **Марьенков А.А., Новик Р.Л., Зюзин М.С.** Система мониторинга оптических волокон FIBERTEST // Lightwave Russian Edition. — 2004. — №4. — С. 52–54
21. **Andreev V.A., Baraev A.F., Kashin M.V., Voronkov A.V.** Application of the RFTS “Foton” on the “Rostelecom” telecommunication networks // in Optical Fiber for telecommunication in Russia, edited by Vladimir A. Burdin. Proceedings of SPIE — 2001. — Vol. 4589. — P. 184–196.
22. **Воронков А.В.** Анализ работы системы автоматизированного мониторинга волоконно-оптических кабелей «Фотон» // Материалы LVI научной сессии, посвященной Дню радио. — М.: МТУСИ, 2001. — Т. 1. — С. 57–60.