

АНАЛИЗ И ПРЕДЛОЖЕНИЯ ПО СОВЕРШЕНСТВОВАНИЮ СИСТЕМ МОНИТОРИНГА ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКИХ ЛИНИЙ СВЯЗИ

Зиновьев Иван Александрович

Академия ФСО России, РФ, г. Орёл

Родькин Никита Ильич

Академия ФСО России, РФ, г. Орёл

Кулюдо Артём Николаевич

Академия ФСО России, РФ, г. Орёл

1. Введение

Волоконно-оптические линии связи (ВОЛС) доминируют над другими инфокоммуникационными системами по следующим признакам [1-3]:

- цифровой поток может передаваться на большие расстояния без усиления или регенерации сигнала;
- отсутствуют перекрестные воздействия электромагнитного поля в оптических волокнах (ОВ), которые имеют место в проводных линиях;
- ВОЛС имеют более широкую полосу пропускания, чем проводные линии (коаксиальные, двухпроводные и т.д.);
- оптический кабель (ОК) имеет значительно меньший вес и объем, чем медные кабели.

Эти преимущества и ряд других, таких как высокая надежность ВОЛС, отличная защита от несанкционированного доступа (НСД), а также длительный срок эксплуатации перед другими инфокоммуникационными системами привели к широкому использованию ВОЛС в современных системах связи.

Важным условием для реализации этих преимуществ является строгое соблюдение технологии сборки волоконно-оптического тракта и проверки параметров в процессе эксплуатации.

Широкое использование ВОЛС ставит мониторинг ОВ на первый план для оценки качества ВОЛС, выявления НСД и других повреждений ОК в процессе эксплуатации.

Важной задачей мониторинга и диагностики ВОЛС является своевременное обнаружение и очистка "проблемных" участков в ОВ: участков с изменением температуры и/или деформации, с изгибами и микроизгибами, а также с НСД к ОВ [1-6].

2. Требования к системам мониторинга ВОЛС

Основными задачами систем мониторинга являются [1 – 6]:

- удаленный мониторинг активных и пассивных волокон;

- автоматическое обнаружение неисправностей и их местоположение;
- уведомление о неисправности ОК;
- своевременное документирование результатов;
- возможность измерения параметров ОВ в ручном режиме;
- прогнозирование изменения параметров ОК;
- возможность расширения системы за счет внедрения новых технологий передачи.

Вышеупомянутые задачи могут быть решены с помощью автоматической системы мониторинга ВОЛС. Система включает в себя оптический рефлектометр временной области (OTDR), который может обнаруживать неисправности и повреждения в ОВ и определять затухание в любой точке ОВ. Дополнительным моментом является то, что системы мониторинга ВОЛС основаны на методе обратного рассеяния с помощью OTDR.

Системы дистанционного тестирования волокон (RFTS) производятся рядом компаний. На российском ИТ-рынке существует несколько таких систем: ONMSi ("JDSU"), NQMSfiber ("EXFO"), Geozondas 7102 ("GEOZONDAS"), FiberTest ("Agizer"), PROFIMAX ("2TEST") и другие [1, 4].

Обратите внимание, что большое количество удаленных и непрерывных систем мониторинга ВОЛС требует правильного выбора RFTS, в зависимости от топологии сети, требований к надежности, а также стоимости системы для планируемой сети и ее дальнейшего совершенствования [1, 4].

3. Выбор системы мониторинга ВОЛС

Автоматическая система мониторинга ВОЛС, которая должна быть установлена между двумя конечными точками, была выбрана в соответствии со следующими условиями:

- мониторинг оптических сетей со "светлым" или "темным" ОВ;
- доступность сети из стандартного интернет-браузера;
- обнаружение неисправностей и их локализация;
- передача сигналов аварии на компьютер заказчика;
- отображение неисправности ОВ на географической карте с координатами;
- режим ожидания для быстрого измерения ОВ и точного режима измерения при возникновении неисправности;
- сохранение все результаты измерений;
- рост надежности сети;
- улучшение защиты систем связи от НСД;
- сокращение времени обслуживания сети;
- снижение затрат на строительство, эксплуатацию, реконструкцию и расширение сети.

На основании вышеизложенного была выбрана система мониторинга ONMSi компании JDSU. Автоматическая система мониторинга ВОЛС ONMSi состоит из аппаратной части, которая включает сервер, клиентские станции, удаленные тестовые блоки (RTU: OTU-8000), каналы связи и программное обеспечение.

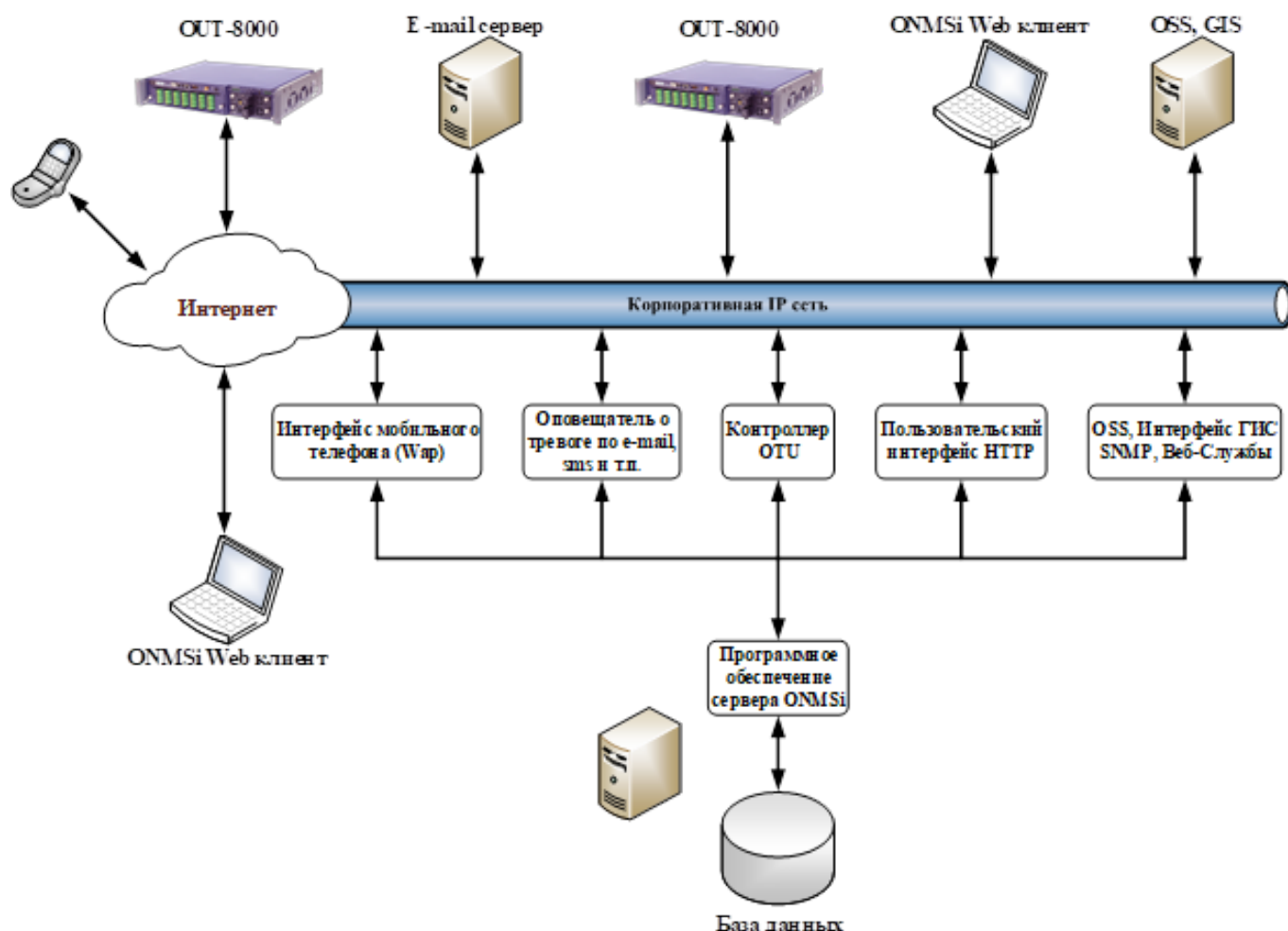


Рисунок 1. Общая схема автоматической системы мониторинга ONMSi

Основной частью системы является центральный сервер, база данных Oracle, функции которого включают хранение и управление всей системной информацией.

Удаленные тестовые блоки (OTU-8000) устанавливаются в определенных точках вдоль линии связи. RTU состоит из оптического переключателя для подключения к отдельным волокнам и одного или двух OTDR. Информация, полученная от всех RTU, передается в базу данных.

Клиентские станции подключены к центральному серверу через IP-сеть или телефонную сеть. Они обеспечивают доступ ко всем системным данным и поддерживают настройку и документирование сетевых структур.

Все неисправности регистрируются на центральном сервере, который отправляет сигналы аварии по факсу, электронной почте или SMS соответствующим операторам, каждый из которых имеет свой спектр задач.

ONMSi могут быть предоставлены два разных интерфейса: SNMP и веб-службы (XML через HTTP). Это позволяет интегрировать ONMSi с OSS, ГИС и другими бэк-офисами. Доступ к системе осуществляется через веб-браузер, что снижает затраты на специальное программное обеспечение.

Система мониторинга ONMSi позволяет отслеживать как "светлое", так и "темное" ОВ. Кроме того, тестирование "темного" ОВ на длине волны оптического сигнала трафика, помимо длины волны тестирующего оптического излучения, что позволяет обнаруживать 80 %

неисправностей.

С другой стороны, мониторинг "светлого" ОВ осуществляется на длине волны, отличной от рабочей длины волны, он позволяет обнаружить почти 100% неисправностей на ВОЛС. В этом случае необходимо использовать дополнительные пассивные элементы: мультиплексоры и фильтры для объединения и разделения оптических сигналов, распространяющихся в ОВ. Согласно вышесказанному, мониторинг "темного" ОВ следует проводить на длине волны 1625 нм, так как в этой ситуации никакого дополнительного оборудования не требуется.

Основным устройством для дистанционного мониторинга ОВ является OTDR. Был выбран модуль OTDR E81162C от JDSU. Он используется для определения физических характеристик ОВ и обнаружения мест неисправностей.

E81162C OTDR может обнаруживать сращивания, механические сращивания, макроизгибы, разветвители и определять потери на неоднородностях, отражениях и затухании. Технические характеристики модуля рефлектометра E81162S следующие:

- длина волны - 1625 нм;
- динамический диапазон - 44 дБ;
- длительность импульса - 2 нс-20 мкс;
- мертвая зона события - 0,6 м;
- мертвая зона затухания - 2 м.

Модуль OTDR E81162C содержит фильтр для контроля "светлого" ОВ. Если измеренный след автоматически анализируется RTU, максимальное затухание должно быть найдено по формуле:

$$A_{max} = D - 10, \text{dB}, \quad (1)$$

где D - динамический диапазон модуля [6].

Принимая во внимание, что OTU-8000 включает оптический переключатель, максимальное измеренное затухание определяется:

$$A_{max} = D - \alpha_{oc} - 10, \text{dB}. \quad (2)$$

Здесь α_{oc} - ослабление оптического переключателя.

Вносимая потеря оптического коммутатора составляет 0,6 дБ для 48 портов и 1,2 дБ для 72 портов в OTU-8000. Обозначим максимальное значение вносимых потерь для оптического переключателя, равное 1,2 дБ [6].

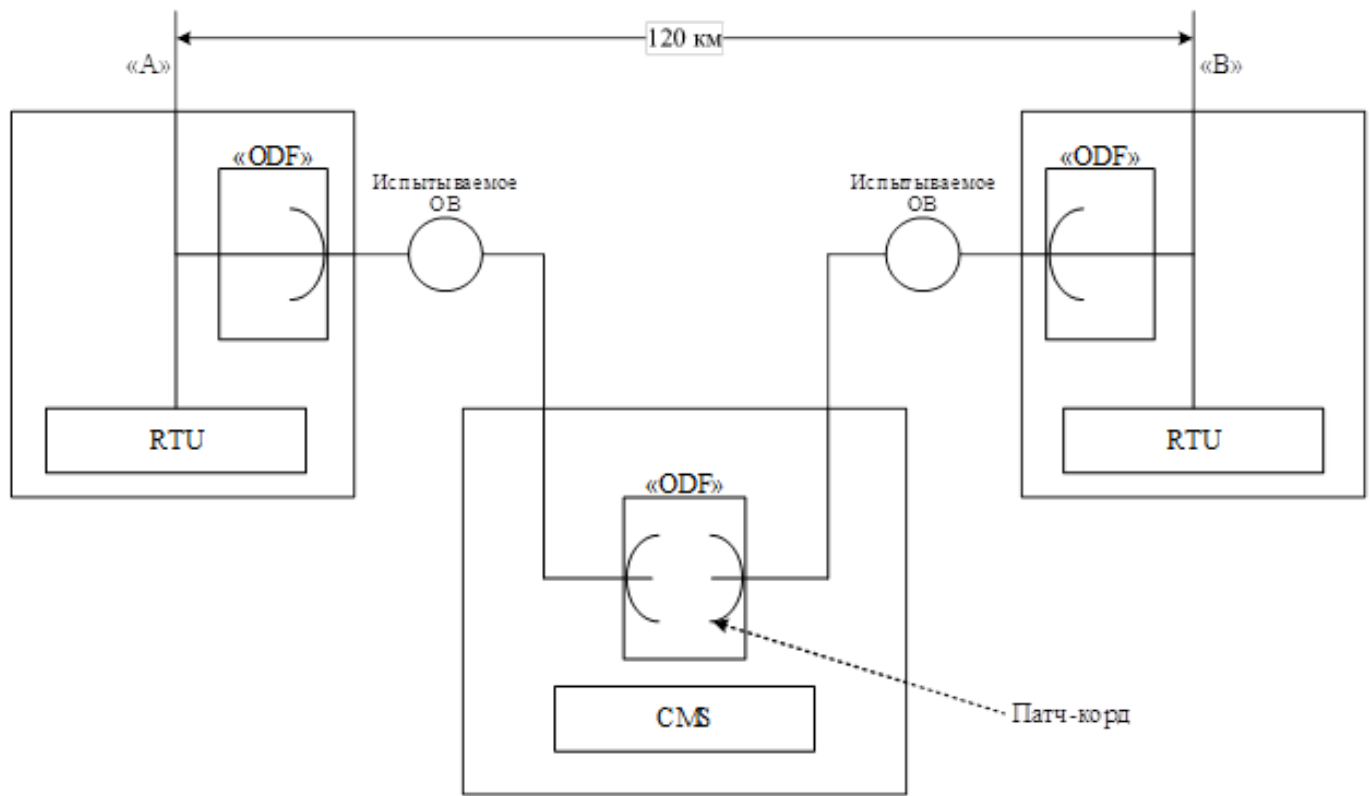


Рисунок 2. Расположение RTU между конечными точками

Таким образом,

$$A_{max} = 44 - 1,2 - 10 = 32,8 \text{ ,dB.}$$

Максимальная длина волоконно-оптической линии связи при мониторинге "легкого" оптического волокна рассчитывается по:

$$A_{max} = \frac{D - \alpha_{oc} - 10}{\alpha_{avg}}, \text{ км.} \quad (3)$$

Здесь α_{avg} – средняя потеря в ОС на 1 км ($\alpha_{avg} = 0,22 \text{ дБ}$) при длине волны 1625 нм.

В результате

$$L_{max} = \frac{44 - 1,2 - 10}{\alpha_{avg}}, \text{ км.}$$

Кроме того, необходимо учитывать потери каждого соединения ОВ (до 0,1 дБ) и каждого механического соединения (до 1 дБ) [6].

Модули RTU могут быть расположены на расстоянии 120 км, чтобы обеспечить бесперебойную работу модулей OTDR. Между RTU расположены станции управления и мониторинга (CMS), в которых установлена оптическая распределительная рамка (ODF) (рис. 2).

4. Результаты экспериментов

С целью изучения работы системы мониторинга ВОЛС ONMSi был проведен эксперимент.

Аварийное состояние было создано на одном из участков ВОЛС: патч-корд был отсоединен (отсоединен) от тестируемого ОВ.

Система мониторинга обнаружила эту аварию и отправила сообщение в диспетчерскую службу, в котором содержалась информация о местоположении неисправности, возможной причине; расстоянии OTDR (расстояние до места неисправности), отклонении от нормы и потере связи. Кроме того, к сообщению прилагаются следы аварии.

В качестве примера на рис. 3 показывает трассировку в "месте неисправности" в режиме реального времени (сигнал аварии) и трассировку (ссылку) неправильной работы линии (время, предшествующее сигналу аварии).

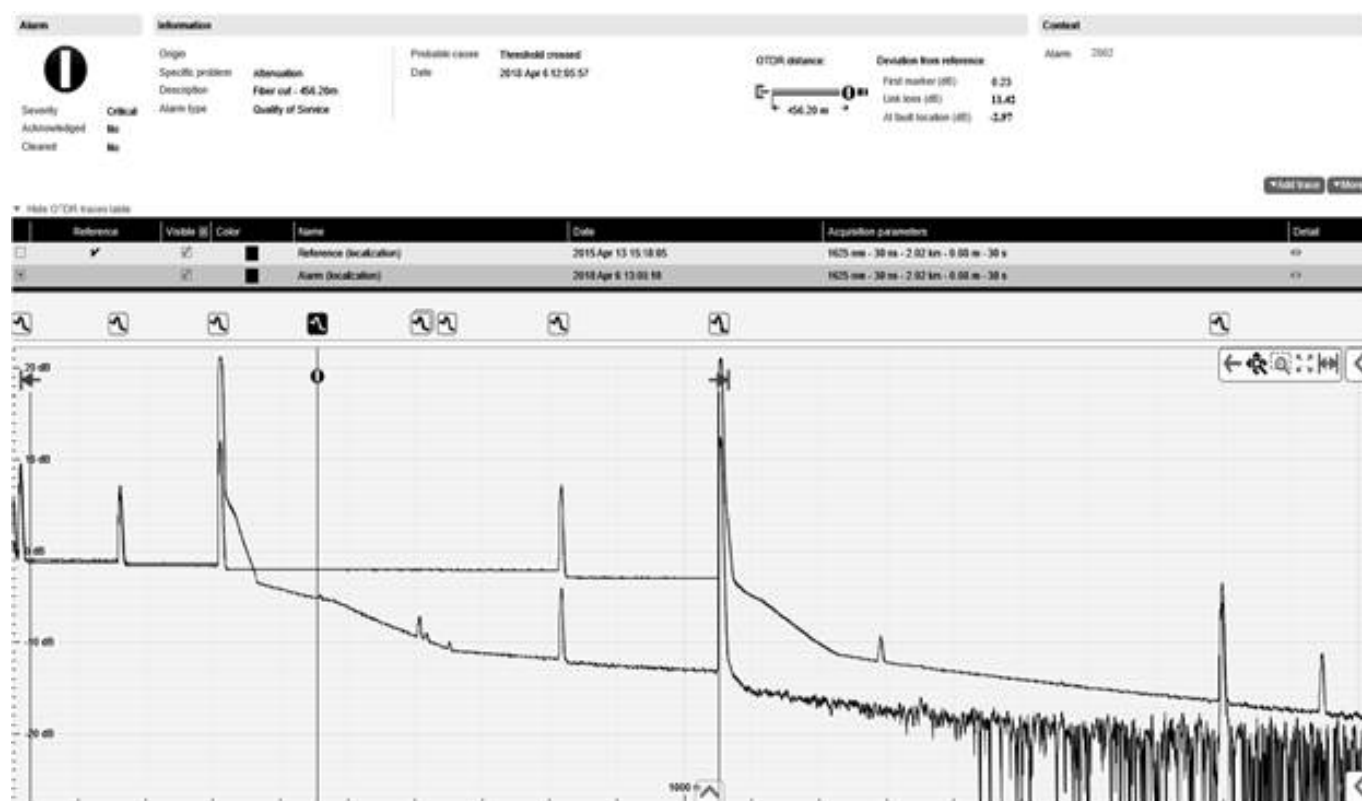


Рисунок 3. Следы срабатывания сигнализации и правильной работы линии

Трассировка сообщает (в сообщении также отмечается), что авария является критической. Известно, что допустимое затухание ОВ для эталонной трассы составляет 1,57 дБ. Как следует из сигнала аварии, этот порог был превышен на 11,42 дБ, что было сигналом неисправности в ВОЛС. В месте повреждения отклонение затухания от эталонной трассы составляет - 2,97 дБ.

Поскольку OTDR измеряет оптическое расстояние в оптическом волокне, необходимо рассчитать физическую длину ОВ и только затем определить конкретное место повреждения ВОЛС для устранения сбоя.

Следует отметить, что можно загрузить таблицу событий с числовыми значениями затуханий и отражений на специальных участках ОВ (сращивание, механическое сращивание, изгиб, конец волокна).

Когда система вернулась к правильной работе ВОЛС (патч-корд подключен в исходном положении), система мониторинга отправила удаленным пользователям сообщение об устраненной аварии, поэтому здесь был прикреплен след состояния ОВ в реальном времени,

который показан на рис. 4.

Сравнение следов на рис. 4 и рис. 3 показывает, что ВОЛС снова работают в правильном режиме.

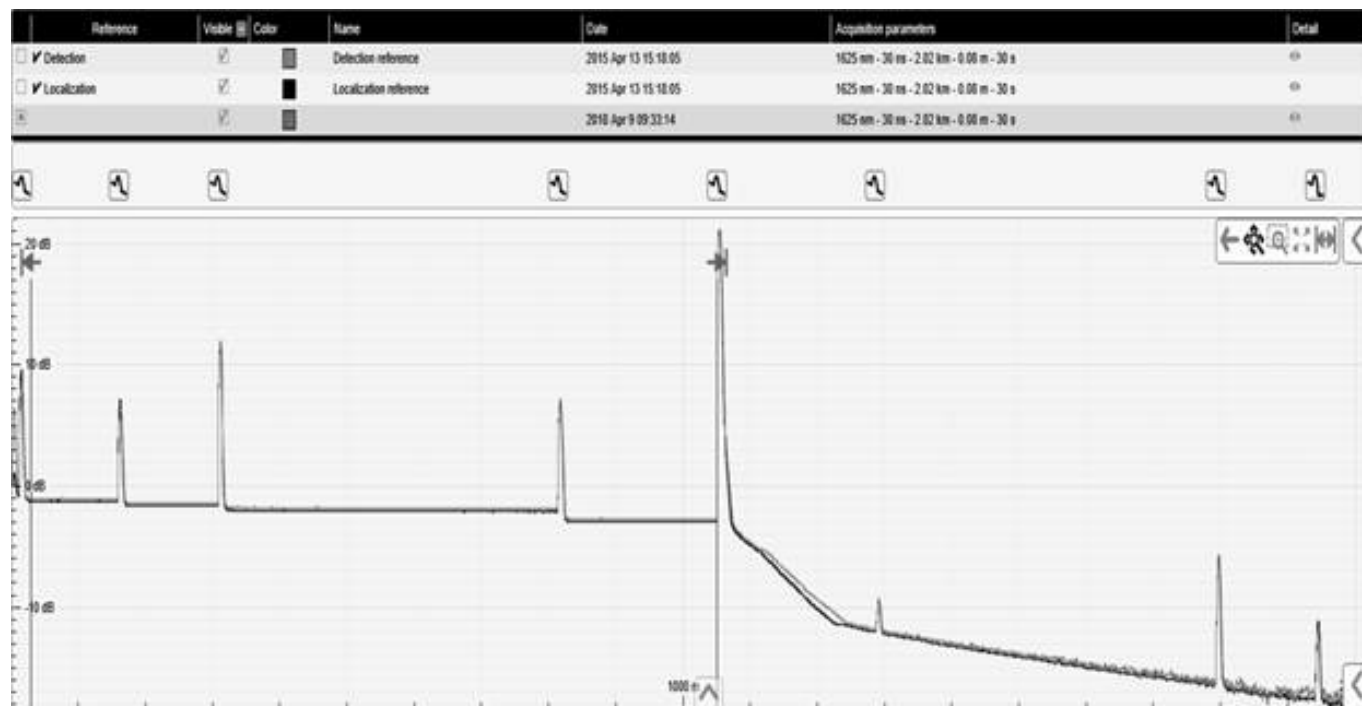


Рисунок 4. Трассировка после снятия аварии

5. Совершенствование систем мониторинга ВОЛС

В дополнение к мониторингу ВОЛС от НСД и других неисправностей ОК и для поддержания срока службы сети связи особый интерес представляет обнаружение участков ОВ с повышенными механическими деформациями и измененной температурой [1-4].

Повышенная деформация волокна приводит к снижению производительности ОК, что сокращает его жизненный цикл. Еще одной проблемой, влияющей на срок службы и эффективность ВОЛС, являются колебания температуры в ОВ. Например, снижение температуры участка ВОЛС может наблюдаться из-за повреждения кабельной трассы, а повышение температуры - при разрыве теплотрассы вблизи ОК [1].

Из-за вышеуказанных проблем возникает необходимость получения безошибочной информации о механических деформациях и изменениях температуры в ОК.

Обычные оптические рефлектометры временной области (OTDR) не способны решить эту задачу [1]. Поэтому процедура рефлектометрии Бриллюэна, основанная на Бриллюэновской оптической рефлектометрии временной области (BOTDR), нашла применение для обнаружения механических деформаций в и участках ОВ с изменениями температуры.

Эта процедура основана на анализе рассеяния Мандельштама-Бриллюэна (MBS) в ОВ, способность которого заключается в том, что спектральные компоненты, вызванные MBS, обладают важным практическим свойством: их частоты смещены на величину, пропорциональную деформации ОВ и его температуре.

Анализируя распределение сдвига частоты Бриллюэна вдоль ОВ, можно получить картину распределения деформации в ОВ, определить местоположение распределенных

неоднородностей ОВ и определить характеристики.

Данные о повышенных деформациях и колебаниях температуры в ОК для некоторых компаний бесполезны, поэтому для них достаточно использовать традиционный OTDR. Однако компании, заинтересованные в быстрой диагностике и обнаружении "проблемных" участков ОВ (оптического волокна с повышенной механической деформацией и с измененной температурой), могут применять модуль BOTDR в блоке OTU-8000 вместе с OTDR.

Для улучшения системы мониторинга ONMSi ВОЛС компания JDSU разработала модуль BOTDR с функцией DTSS (распределенного температурного тензодатчика) на основе MBS, где данные о частоте излучения позволяют оценить деформацию и температуру ОВ.

Важным преимуществом системы мониторинга ONMSi является возможность использования базового блока с модулем OTDR (функция DTSS) в блоке OTU-8000. Однако использование этого устройства увеличивает минимальное время измерения до 1 минуты, но, принимая во внимание большие возможности BOTDR в измерении ВОЛС, этот недостаток не может быть критичным. Кроме того, базовый блок с функцией DTSS имеет оптический коммутатор с 8 портами, а не с 24, как в блоке OTU-8000 с обычным OTDR, но мы можем использовать внешние оптические коммутаторы в случае необходимости.

Единственной трудностью в применении устройства OTU-8000 с BOTDR является его высокая стоимость.

Многие проблемы с надежностью ВОЛС могут быть решены с помощью модуля OTDR в системе ONMSi.

6. Выводы

Строительство и развитие крупных корпоративных сетей показывает, что система мониторинга ОК в ВОЛС должна планироваться на этапе проектирования цифровой сети.

С развитием большой и междугородней сети до определенного уровня, когда необходимость установки систем RFTS становится очевидной как по техническим, так и по экономическим причинам, очень важно сделать правильный выбор системы мониторинга ОК в ВОЛС.

Результаты сравнительного анализа систем RFTS показывают, что на российском ИТ-рынке существует большой выбор многофункциональных, надежных и гибких систем удаленного и непрерывного мониторинга для современных сетей связи.

Список литературы:

1. Богачков И.В., Горлов Н.И. Компоненты волоконно-оптических систем связи и методы контроля их параметров. – Омск: Изд-во ОмГТУ, 2013.
2. Богачков И.В., Горлов Н.И., Трухина А.И. Исследование влияния изгиба оптических волокон на спектр обратного рассеяния Бриллюэна. I-я Российская научно-практическая конференция "Оптическая рефлектометрия-2016" – Труды, 2016.
3. И.В.Богачков, А.И.Трухина, Обнаружение участков со слегка измененными оптическими характеристиками в волоконно-оптических линиях связи, Международная Сибирская конференция по управлению и связи (СИБКОН) – 2017, Астана.
4. Богачков И.В., Трухина А.И. Проблемы мониторинга современных волоконно-оптических линий связи. VI Международная конференция "Фотоника и информационная оптика" – Продолжение, 2017.
5. Богачков И.В., Трухина А.И. Повышение эффективности обнаружения каналов утечки в

оптических волокнах, VI Международная конференция “Фотоника и информационная оптика” – Продолжение, 2017.

6. Стандарт ISO 56947007-33.180.10.211-2016. Технологическая коммуникация. Типовые технические решения для организации системы мониторинга состояния оптического волокна.