

НЕКОТОРЫЕ АСПЕКТЫ ЭКСПЛУАТАЦИИ И НАДЕЖНОСТИ ВОЛС

Проблема надежности ВОЛС охватывает широкий круг проблем и по своей сути является комплексной. Ее решение требует применения соответствующих методик оценки, расчета и контроля различных параметров оптических кабелей (ОК) и показателей надежности ВОЛС [1].

Надежность ВОЛС зависит от различных конструктивно-производственных и эксплуатационных факторов. К первым относятся факторы, связанные с разработкой, проектированием и изготовлением ОК и других вспомогательных изделий и устройств, входящих в состав ВОЛС. Ко вторым – все факторы, влияющие на надежность ОК в процессе его прокладки, монтажа и последующей эксплуатации. В связи с этим, интерес представляют вопросы организации системы технической эксплуатации (СТЭ) ВОЛС, как наиболее длительного периода ее использования.

Мероприятия по оптимизации и повышению эффективности работы СТЭ ВОЛС можно разделить на две большие группы:

- системы непрерывного мониторинга оптических волокон, которые позволяют оперативно локализовать неполадки и деградации волокна и должны предусматриваться на этапе проектирования цифровых сетей связи, организационные мероприятия, заключающиеся в улучшении системы и структуры эксплуатационной службы;
- мероприятия технического характера, состоящие в разработке и внедрении новых методов и устройств, обеспечивающих улучшение эксплуатационных и технических характеристик подсистем магистральной связи, сокращающие время проведения ремонтно-восстановительных и аварийно-восстановительных работ.

Выбор критериев оптимизации СТЭ и разработка технических мероприятий должны базироваться на основе ста-

тистических исследований повреждений КМ, результаты которых, безусловно, будут различны для различных регионов.

Одним из основных количественных параметров оценки надежности ВОЛС является коэффициент готовности K_r , который определяется как отношение суммарного времени исправной работы ВОЛС ($T_u = T_0 - T_B$, где T_B – время восстановления) к общему времени наблюдений T_0 [1]:

$$K_r = \left(T_0 - \sum_{i=1}^n T_n \cdot n_i \right) / T_0 = (T_0 - \bar{T}_B \cdot n) / T_0.$$

Этот коэффициент может быть рассчитан для самых различных подсистем, образующих структуру ВОЛС (оборудование, кабельное хозяйство, электропитание и пр.), или, в целом, для всего объединенного комплекса подсистем, образующих структуру участка сети передачи информации.

Оценочный расчет показателей качества и надежности, рекомендованный в нормативных документах [2] и выполняемый на стадии проектирования для магистралей ВОЛС первичной сети при различной протяженности тракта ВОЛС, приведен в таблице. Протяженность до 200 км – местная первичная сеть, до 1500 км – зональная первичная сеть, до 12 500 км – магистральная первичная сеть.

Самое заметное влияние на коэффициент готовности оказывает время восстановления $T_{cp.в.}$, которое, в свою очередь, складывается из четырех составляющих:

- среднего времени обнаружения неисправности $t_{cp.о.}$

ОБ АВТОРАХ

Никитин Борис Константинович – к.т.н., доц., профессор кафедры "Линии связи" СПб ГУТ, автор более 100 научных трудов, публикаций и методических работ, в том числе 24 авторских свидетельств в области строительства и технической эксплуатации ВОЛС и других сооружений связи. Руководитель семинаров "Современные технологии проектирования, строительства и эксплуатации ВОЛС" и "Повышение эффективности технической эксплуатации современных кабельных сетей".

Стогов Евгений Борисович – начальник службы ЛКС "РОСТЕЛЕКОМ" (северо-западный филиал), автор более 30 публикаций и докладов на конференциях. Руководитель семинаров "Строительство и эксплуатация ВОЛС".

- среднего времени определения характера и места повреждения $t_{\text{ср.изм.}}$
- среднего времени ремонта $t_{\text{ср.рем.}}$
- в случае повреждения кабельной линии к этим составляющим добавляется время, необходимое для прибытия аварийной бригады на место повреждения линии $t_{\text{ср.тр.}}$.

Здесь начинается самое интересное. Первые два слагаемых могут быть определены очень быстро в результате постоянного мониторинга ВОЛС. Вторые два – зависят от многих факторов, например, таких, как:

- сколько ремонтных бригад находится в распоряжении,
- какими приборами и инструментами они оснащены,
- на чем бригады поедут к месту повреждения,
- за какое время бригады придут к месту повреждения.

Эти затраты входят в затраты на эксплуатацию ВОЛС, которые, в свою очередь, должны быть соизмеримы с теми доходами, которые приносит эта ВОЛС.

В результате, эффективность СТЭ будет определяться следующими основными факторами в структуре времени восстановления: организацией мониторинга ВОЛС и наиболее сложной, как в организационном плане, так и в плане реализации, задачей устранения повреждений.

Несколько слов о мониторинге. В настоящее время существует большое разнообразие систем мониторинга [3], которые в той или иной степени решают эту задачу, например, система RFTS (рис.1). Однако на практике, особенно на внутризоновых ВОЛС, все сводится к организации мониторинга простейшего вида, поскольку широкополосный доступ отсутствует и, соответственно, нет возможности обмена большими объемами информации. Кроме того, реализация систем типа RFTS требует значительных затрат. Эти затраты оправданы в случае мониторинга мощных структур сети, таких

как магистральные, междугородные и международные линии. Поэтому, при простейшей организации мониторинга используют различные рефлектометры (рис.2). Это относится, прежде всего, к обычным, внутризоновым линиям, где затраты на мониторинг в полном объеме приведут к тому, что стоимость трафика в регионе возрастет в несколько раз. Следует отметить, что протяженность таких линий (в том числе ВОЛС) в несколько раз превышает протяженность мощных ВОЛС, а по объему трафика существенно уступает. В такой ситуации и начинают возникать проблемы – как оптимизировать систему эксплуатации и обеспечить необходимые показатели надежности.

Анализ этих проблем и их решение зависят от многих факторов. Прежде всего, это затраты на проведение ремонтно-восстановительных работ, которые непосредственно связаны с простоем ВОЛС и потерями трафика. Этот фактор определяет оснащенность ремонтных бригад оборудованием, измерительной техникой, и, пожалуй, самое главное, транспортом.

Для того чтобы оценить потребности СТЭ в количестве ресурсов, привлекаемых в случаях ремонта ВОЛС, целесообразно проанализировать статистику повреждений и реальные значения коэффициента готовности.

Основные причины повреждений ВОЛС следующие:

- по вине сторонних организаций (в том числе хищение кабеля),
- стихийные бедствия,
- нарушения правил технической эксплуатации,
- факторы, связанные с деградацией прочностных характеристик оптического волокна (ОВ).

На рис.3 представлено распределение по видам повреждений ВОЛС за последние несколько лет наблюдений при протяженности линий около 4000 км. Продолжительность повреждений в часах за соответствующий год и среднее время восстановления одного повреждения представлены на рис.4.

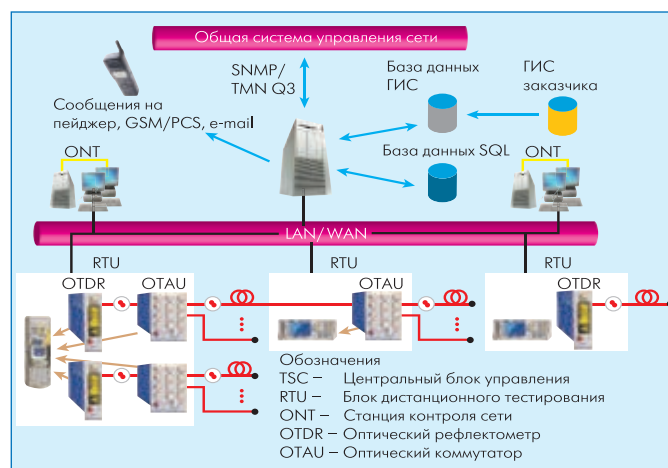


Рис.1 Архитектура системы RFTS

Показатель	Канал ТЧ или ОЦК на сети PDH			Канал ОЦК на сети SDH			Оборудование линейного тракта		
	200	1500	12500	200	1500	12500	200	1500	12500
Протяженность тракта ВОЛС, км, не более	200	1500	12500	200	1500	12500	200	1500	12500
Коэффициент готовности, не менее	0,997	0,99	0,92	0,9994	0,998	0,982	0,9987	0,99	0,92
Среднее время между отказами, ч, не менее	400	111,4	12,54	7000	2050	230	2500	350	40
Время восстановления, ч, не более	1,1			4,24			10–16*		

* Зависит от многих факторов, самый сложный (технически) и болезненный (с точки зрения экономики) вопрос, реальные значения приведены ниже.

Приведенная статистика позволяет сделать вывод, что преобладающим видом повреждений ВОЛС являются повреждения механического характера, которые требуют от службы эксплуатации применения самых разнообразных мер по их устранению.

Расчет коэффициентов готовности по статистическим данным, приведенным на диаграммах, позволяет судить о качестве работы СТЭ. Например, для оборудования линейного тракта протяженностью до 200 км $K_{200} = 0,992$, на внутризоновой первичной сети с протяженностью ВОЛС до 1500 км $K_{1500} = 0,986$, на магистральной первичной сети с протяженностью ВОЛС до 12500 км $K_{12500} = 0,862$.



Рис.2 Рефлектометр для простейшей организации мониторинга

Сравнивая расчетные средние значения коэффициентов готовности с рекомендованными и полученными на основе анализа статистической модели, можно сделать вывод, что реальные значения коэффициентов готовности далеки от рекомендуемых. Следовательно, поиск путей повышения эффективности работы СТЭ – актуальная задача, требующая решения. Очевидно, что K_r может быть повышен за счет сокращения времени восстановления и простоя.

Используемые в практике эксплуатации мероприятия, направленные на сокращение времени восстановления работоспособности трактов, можно разделить на две группы:

- мероприятия, направленные на развитие сети связи с целью обеспечения возможности создания обходных направлений и коммутации трактов поврежденного направления на резервные (реализация этих мероприятий обусловлена общим планом развития сети региона),
- организационные и технические мероприятия, которые предполагают использование современных методов и оборудования, обеспечивающих временное резервирование трактов систем передачи на поврежденном участке (техническая реализация временного резервирования, как правило, осуществляется на основе использования временных кабельных вставок на поврежденных участках). Особое значение приобретает разработка мероприятий по сокращению времени проведения ремонтно-восстановительных работ.

Одним из наиболее часто применяемых способов, который позволяет существенно сократить время восстановления связи на поврежденном участке, является использование временных волоконно-оптических кабельных вставок (ВОКВ) [4]. Предполагается, что время развертывания временной вставки должно быть в 2–3 раза меньше времени восстановления магистрального кабеля по постоянной схеме.

Основные требования, которые должны быть предъявлены к системе восстановления на основе временных вставок, можно сформулировать следующим образом:

- многократное использование вставки – большое число циклов развертывания,



Рис.3 Распределение количества повреждений ВОЛС по причинам их возникновения



Рис.4 Средняя продолжительность повреждений и время восстановления ВОЛС

- возможность быстрого подключения к магистральному кабелю,
- возможность развертывания вставки в сложных условиях пересеченной местности при наличии различного рода переходов через автомобильные и железные дороги, реки, овраги и т.д.,
- обеспечение работоспособности вставки в течение необходимого и достаточного времени на проведение требуемых ремонтно-восстановительных работ,
- сохранение всех характеристик тракта, на котором используется вставка, в пределах требуемых нормами значений. Перечисленные требования и обеспечение различных ва-

риантов использования ВОКВ предполагают их реализацию в трех вариантах.

КОРОТКАЯ ВОКВ

Протяженность элемента вставки не более 250 м. Это позволяет выполнить развертывание вставки без использования каких-либо механизмов, т.е. вручную, что особенно важно в условиях сложной и пересеченной местности. Вставка предназначена для использования при обрыве ВОК (как подземного, так и воздушного) именно в месте повреждения. Оборудована временными оптическими муфтами специальной конструкции, которая позволяет герметизировать место соединения кабеля вставки и магистрального кабеля после их стыковки. Соединение оптических волокон осуществляется

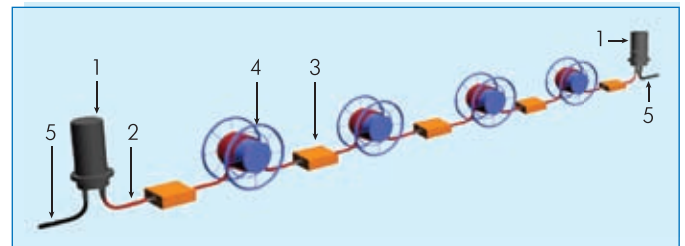


Рис.5 Многоэлементная ВОКВ: 1 – оптическая муфта FOSC-400 (либо другая по заявке), 2 – устройство подключения – пиг-тейл длиной 30 м, 3 – узел защиты мест соединений – промежуточный контейнер, 4 – кабельная секция, 5 – магистральный оптический кабель



Рис.6 Промежуточный контейнер – узел защиты мест соединений

с помощью механических сплайсов, причем волокна кабеля вставки уже в них введены и потребуются затраты времени только на разделку магистрального кабеля. Суммарное время развертывания подобной вставки занимает 2–3 часа, в зависимости от количества волокон и условий по трассе. Потери при простейшем соединении волокон (без дополнительного контроля) не превышают 0,4 дБ.

МНОГОЭЛЕМЕНТНАЯ ВОКВ

Наиболее широко рекламированная вставка представляет собой комплект из нескольких, последовательно соединяемых элементов (рис.5). Основное достоинство такой вставки состоит в том, что она может быть развернута вручную, так как вес одной кабельной секции при использовании легкого ВОК не будет превышать 40–50 кг при длине не более 1 км. При этом общая протяженность вставки достигает строительной длины магистрального ВОК (максимум 6 км).

Однако у подобной вставки есть серьезные недостатки, которые относятся, прежде всего, к суммарным потерям по затуханию на вставке и к суммарным возвратным потерям. Например, если вставку установить на всю строительную длину протяженностью 6 км, потребуется семь промежуточных кон-



Выезд бригады на проведение ремонтно-восстановительных работ. На первом плане в ремонтной машине видна временная волоконно-оптическая кабельная вставка.

Рис.7 Развертывание и эксплуатация одноэлементной ВОКВ протяженностью 4 км

тейнеров (рис.6). В каждом из них потери на разъемном соединении составят, в среднем, 0,2 дБ, а в сумме 1,4 дБ. Если в кабеле вставки использованы стандартные одномодовые волокна со средним значением потерь 0,22 дБ/км, то в результате получим общие потери: $A = 7 \cdot 0,2 + 6 \cdot 0,22 = 2,52$ дБ. И это без учета потерь в местах монтажа оптических муфт и соединения с магистральным кабелем. Если учесть, что системный запас на ВОЛС, заложенный в процессе проектирования, не превышает 2 дБ, то очевидно, что такая вставка работать не будет.

Далее встает вопрос о скоростях передачи данных по ВОЛС. Даже при первом рассмотрении ясно, что наличие большого числа дополнительных разъемных соединений приведет к возникновению достаточно мощных обратных потоков, так как параметры этих соединений в полевых условиях, с этой точки зрения, никто контролировать не будет. В результате суммарная дисперсия в подобной линии возрастет значительно, что неминуемо приведет к росту ВВЕР и ограничению скорости передачи. К сожалению, этот вопрос не исследовался в достаточной степени и какие-либо конкретные данные отсутствуют.

ОДНОЭЛЕМЕНТНАЯ ВОКВ

Одноэлементная вставка представляет собой один элемент (максимум два), обеспечивающий перекрытие всей строительной длины магистрального кабеля. Применение одноэлементной вставки устраняет основные недостатки многоэлементной ВОКВ, однако приводит к существенному увеличению ее веса и, соответственно, усложнению процесса развертывания только с автомашины (рис.7). К недостаткам протяженных ВОКВ (многоэлементных и одноэлементных) следует отнести и необходимость проведения охранных мероприятий, так как они разворачиваются на открытой местности (как правило, вдоль автомобильных дорог).

Работа ремонтных бригад немыслима без сопровождения инструментальной базой и измерительной техникой (рис.8), а также без комплекса оборудования для проведения всех необходимых операций по восстановлению кабельной системы ВОЛС. Примерный состав лаборатории может выглядеть следующим образом: автомобиль (например, ГАЗ-27057), средства скорейшего восстановления связи, измерительное и монтажное оборудование.

В средства скорейшего восстановления связи входит следующее оборудование:

- волоконно-оптическая кабельная вставка короткая, длина 250 м,
- волоконно-оптическая кабельная вставка многоэлементная, длина элемента 0,8–1,0 км, количество элементов определяется конкретно для данной линии,
- волоконно-оптическая кабельная вставка одноэлементная (3 + 3) км или (4 + 2) км (все варианты кабельных вставок должны быть полностью укомплектованы в соответствии с



Рис. 8 Передвижная лаборатория по монтажу, ремонту и восстановлению ВОЛС

- технической документацией на вставку),
- бензоэлектростанция 220 В, 3,5 кВт,
 - комплект исполнительской документации на ВОЛП.
- Измерительное оборудование:
- рефлектометр "MTS-5100",
 - оптический телефон "PHOTOM 450",
 - трассоискатель "ЗМ",
 - источник оптического излучения "WG-OLS-15",
 - измеритель "WG-OLP-15A",
 - катушка оптического волокна длиной 1,5 км.
- Монтажное оборудование:
- сварочный аппарат "FSM 40S",
 - скальватель СТ-20 – 2 шт.,
 - комплект инструмента "НИМ 25",
 - инструмент для монтажа защитной полиэтиленовой трубки (ЗПТ),
 - муфты MOM-у, МТОК-96, FOSC-400 в количестве 4 шт. (как минимум),
 - муфты для ЗПТ в количестве 20 шт.,
 - теплоэлектровентилятор,
 - электрофен,
 - средства радиосвязи.

Кроме оборудования для работы на волоконно-оптическом кабеле необходимо оборудование для проведения земляных работ, которое размещается в специальном отсеке либо на другом автомобиле.

В состав этого оборудования обязательно должны входить:

- палатка кабельная – 2 шт.,
- стол монтажный – 2шт.,

бензопила,
кабель вводной,
электронасос погружной с пожарным рукавом,
электромолоток,
набор слесарных инструментов,
инструменты (лопаты, лом, топор),
светильники,
штырь заземления,
держатель кабельный,
удлинитель для электроинструмента на катушке,
спецодежда,
аптечка,
противопожарные средства.

Состав аварийной (ремонтно-восстановительной) бригады – 5 человек.

Для проведения двухсторонних измерений на оконечных пунктах находятся 2 измерителя (по одному с каждой стороны) с рефлектометром и оптическим тестером.

Основные выводы, которые можно сделать даже из простейшего анализа ситуации, связанной с вопросами эксплуатации ВОЛС (по крайней мере, в России), следующие:

- работы, направленные на построение совершенных систем мониторинга ВОЛС, безусловно, обеспечивают должное выполнение основной своей функции – обнаружение места повреждения и определения причины возникновения отказа (даже отказов, развивающихся во времени);
- ни одна система мониторинга не способна восстановить линию или устранить отказ в оборудовании и аппаратуре ВОЛС, линейном тракте и, тем более, кабеле (эта задача и не ставится перед система мониторинга);
- для обеспечения параметров надежности ВОЛС, которые можно встретить в различных нормативных документах, необходимо совершенствовать систему технической эксплуатации ВОЛС, прежде всего, с точки зрения построения системы обслуживания и выполнения аварийных и ремонтно-восстановительных работ непосредственно на трактах ВОЛС с привлечением дополнительного современного оборудования и других технических средств.

ЛИТЕРАТУРА

1. Хволес Е.А., Ходатай В.Г., Шмалько А.В. Волоконно-оптические линии связи и проблемы их надежности. – ВКСС. Connect, 2000, № 4.
2. Руководящий технический материал по технической эксплуатации волоконно-оптических систем передачи на внутризональных и магистральных первичных сетях ВСС России. – М.: ЦНИИС, 1997.
3. Шмалько А.В., Гаскевич Е.Б., Убайдуллаев Р.Р. RFTS – системы мониторинга ВОЛС. – TERALINK.
4. Овсянников Л.М. Аварийно-восстановительные работы на ВОЛС. Фотон – экспресс, 2000, № 20.