

СЕКЦИЯ № 2

«РАЗВИТИЯ РАДИОЭЛЕКТРОННЫХ И ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОЙ ОТРАСЛИ»

УДК 621.396.1

Абыханов Зейнолла Ахметович – магистрант (г. Алматы, Казахская академия транспорта и коммуникаций им. М. Тынышпаева)

АЛГОРИТМ ВЫПОЛНЕНИЯ МЕРОПРИЯТИЙ ПРИ ОСУЩЕСТВЛЕНИИ КОНТРОЛЯ РАБОТОСПОСОБНОСТИ И УСТРАНЕНИЯ ПОВРЕЖДЕНИЙ В ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЕ ПЕРЕДАЧИ

При эксплуатации оптических волокон, проблема долговечности приобретает решающее значение. Механические требования, предъявляемые к конструкции оптоволоконного кабеля, выполняются, если оптическое волокно прочно и не разрушается в течение заданного срока службы. Поэтому создание оптического кабеля связи на основе оптических волокон заданной долговечности требует анализа прочностных характеристик волокна, оценки кратковременной и длительной прочности волокна и оценки надежности оптического волокна.

Алгоритм выполнения мероприятий при осуществлении контроля работоспособности и устранения повреждений в волоконно-оптической системе передачи представлен на рисунке 1.



Рисунок 1 – Алгоритм поиска неисправностей на ВОСП

Таким образом, алгоритм идентификации повреждений сводится к процессу, в результате анализа и сопоставления данных контроля определяется конкретная причина повреждения, его местонахождение, устранение и контрольное тестирование[1].

Идентификация повреждения выполняется в несколько этапов и зависит от квалификации строительных бригад; категории грунта; наличия преград (водных, скалистых местностей) на предполагаемом участке строительства, наличием необходимого контрольно-измерительного оборудования.

Процесс идентификации повреждения состоит из следующих этапов:

- сбор и анализ исходной информации;
- тестирование и проверка исходной информации;
- установление и идентификация неисправности;
- локализация неисправности.

Действия, которые на каждом из этих этапов необходимо выполнить, зависят от ситуационной схемы, строгом соблюдении регламента и последовательно произведенных действий которые и обеспечивают устранение неисправности в кратчайшие сроки[2].

Рассмотрим вероятность безотказной работы (ВБР) и вероятность отказов (ВО) в функции ПРО $f(t)$. Так как интенсивность отказов (ИО) (t) это более полная характеристика надежности, то выразим ВБР $P(t)$ через ИО.

Используя выражение для интенсивности отказов:

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{P(t)} \quad (8)$$

Запишем: $dP(t)/dt = -\lambda(t) \cdot P(t)$.

Разделяя переменные (умножив обе части на $dt/P(t)$), получим: $dP(t)/P(t) = -\lambda(t) dt$. Интегрируя от 0 до t и принимая во внимание, что при $t = 0$ ВБР объекта $P(0) = 1$, получаем

$$\int_0^t \frac{dP(t)}{P(t)} = \ln P(t) = \ln P(t) = - \int_0^t \lambda(t) dt \quad (9)$$

Откуда уравнение связи основных показателей надежности примет вид:

$$P(t) = \exp \left\{ - \int_0^t \lambda(t) dt \right\} \quad (10)$$

Величина $\lambda(t) dt$ – есть вероятность того, что элемент, безотказно проработавший в интервале наработки $[0, t]$, откажет в интервале $[t, t+dt]$ [3].

При вредительствах, связанных с хищениями кабеля; строительных работ сторонними организациями с разрытием грунта трассы ВОК, без согласования контролирующих органов телекоммуникации; нарушение целостности кабеля грызунами, как правило, приводит к обрыву или образованию неоднородности ОВ на строительной длине кабеля.

В этих случаях персонал АВБ проводит осмотр кабельной трассы на поврежденном участке. В обязанность персонал АВБ входит не только определение места повреждения, но и их устранение

Персонал АВБ, после того, как определяет примерное место повреждения кабеля по картограмме, в близлежащих колодцах намеренно изгибают кабель. Таким образом, по резким перепадам рефлектограммы определяются колодцы в обоих направлениях от места повреждения. И по команде измерителя персонал АВБ достают кабель до этих колодцев и устанавливают длину ВОК, необходимую для смены поврежденного.

В случаях когда, повреждение находится в промежутке между колодцами, то есть на строительной длине или нет запаса ВОК, для того чтобы, переделать муфту, устанавливают постоянную кабельную вставку.

Для ВОЛС протяженностью L при постоянных условиях эксплуатации интенсивность потока отказов находится из выражения: $\psi = \zeta L$.

Для ВОЛС, организованной из m участков с различными средними значениями интенсивности отказов $\zeta_1, \zeta_2, \dots, \zeta_i, \dots, \zeta_m$, интенсивность потока отказов равна:

$$\psi = \sum_{i=1}^m \zeta_i L_i \quad (11)$$

Полагая, что зависимость вероятности безотказной работы ВОЛС от времени имеет экспоненциальную зависимость, можно записать плотность распределения вероятности безотказной работы:

$$p(t) = \psi \exp(-\psi t). \quad (12)$$

Очевидно, что среднее время восстановления $t_{\text{в}}$ ВОЛС складывается из среднего времени обнаружения неисправности $t_{\text{об}}$, среднего времени определения характера и места повреждения $t_{\text{изм}}$, среднего времени ремонта $t_{\text{рем}}$, т.е. $t_{\text{в}} = t_{\text{об}} + t_{\text{изм}} + t_{\text{рем}}$. При повреждении кабельных линий появляется время $t_{\text{тр}}$, необходимое для прибытия ремонтной бригады на место повреждения линии. Отсюда можно определять пути уменьшения времени восстановления повреждений ВОЛС.

По условиям работы время восстановления связи $t_{\text{вос}}$ много меньше времени безотказной работы $t_{\text{б.р.}}$. Следовательно $\psi \approx 1/t_{\text{б.р}}$ и восстановление неисправности ВОЛС происходит в течение случайного времени $t_{\text{вос}}$, распределенного по закону Пуассона с параметром $\mu_{\text{в}} = 1/t_{\text{вос}}$ и плотностью:

$$\varphi(t) = \mu_{\text{в}} \exp(-\mu_{\text{в}} t). \quad (13)$$

Параметр распределения $\mu_{\text{в}}$ иногда называют производительностью подсистемы восстановления работы кабельных магистралей, так как он соответствует числу устраняемых отказов в единицу времени.

Критерий надежности световода также требует оптимизации его площади поперечного сечения, т.е. выбора числа ОВ в каждом информационном канале. Количество ОВ в пучке определяется двумя факторами [4]:

- требуемой площадью поперечного сечения пучка волоконных световодов S_0 ,
- требуемой надежностью участка линии связи.

Общая площадь поперечного сечения пучка определяется площадью излучающей поверхности источника излучения. Наименьшее количество ОВ зависит от максимально возможного внешнего диаметра d_{max} ОВ, определяемого его механическими параметрами и условиями изготовления ОК:

$$N_{\text{min}} = 4S_0 / \pi d_{\text{max}}^2. \quad (14)$$

Распределение разрывов каждого ОВ вдоль и поперек пучка ОВ подчиняется статистическим законам. Прежде всего, необходимо оценить условия и характер возникновения обрывов. Обрывы возможны при изготовлении ОК и в процессе его прокладки, а также во время эксплуатации.

В процессе прокладки повреждения ОВ более вероятны, чем при эксплуатации, однако эти обрывы в случае их появления, скорее всего, приведут к полному повреждению пучка ОВ. Более частные, распределенные по длине пучка и отдельным волокнам, обрывы возникают при изготовлении ВОК – брак продукции. Обрывы в основном возникают при наложении защитных покрытий на жгуты, образующие пучок. Повреждается, как правило, одно волокно, оказавшееся наиболее слабым на этом участке или подвергшееся наибольшему усилию.

Надежность кабельных линий связи определяется совместным влиянием внутренних и внешних неблагоприятных факторов.

Внешними источниками повреждений традиционных линий связи на основе ОК с металлическими проводниками относятся:

- земляные работы сторонних организаций;
- опасные электромагнитные влияния;
- оползни, обвалы, мерзлотные явления, стихийные бедствия.

К внутренним источникам повреждений относятся:

- дефекты производства;
- ошибки, допущенные в ходе строительства, монтажа и эксплуатации кабельной линии.

По существующей статистике 90% всех отказов кабельных линий, вызванных внешними причинами, в том числе, земляными работами сторонних организаций - более 50% [5].

Трудность ремонтных работ заключается в отсутствии внешних признаков повреждений наружных элементов конструкции ОК, что увеличивает временные затраты на работы по определению места обрыва ОВ и следовательно восстановления ВОЛС. Кроме того, при ремонте происходит значительный (до 0,4 дБ на два дополнительных стыка) рост затухания. При определенном числе обрывов суммарная величина дополнительных потерь может превысить эксплуатационный запас регенерационного участка по затуханию.

Рассмотрим особенности измерений МОР, обусловленных погрешностями измерительных приборов и методическими погрешностями, определяемыми методом измерения и ошибками, возникающими вследствие неверного учёта различных факторов, влияющих на результат измерения.

В измерении оптоволоконных кабелей и узлов различают две категории задач: промышленный и эксплуатационный анализ. Последний связан с определением технического состояния оптического кабеля (ОК) для предупреждения и устранения повреждений. Для этого требуется с высокой точностью определять местонахождение и характер неоднородностей ОК.

Наиболее эффективно измерения этого вида осуществляются с помощью универсального прибора – оптического рефлектометра во временной области (OTDR). В основе измерений лежит метод обратного рассеивания (МОР). Полученные результаты представляются в визуальной форме на рефлектограмме. Расстояние до любой точки ОК определяется по измерению интервала времени между моментом послышки зондирующего импульса и регистрацией импульса обратно рассеянной мощности. Дальность обнаружения неоднородности идентифицируется по формуле:

$$l = \frac{c \cdot t}{2} \cdot \frac{\sqrt{(\Delta t)^2 + (1/\Delta f)^2}}{t \cdot \Delta n + n \cdot \Delta t}, \quad (15)$$

где: c – скорость света; Δt - длительность импульса; t – временной интервал между импульсами; Δf - ширина полосы пропускания предусилителя; n – показатель преломления; Δn - изменения показателя преломления.

Основной задачей рассматриваемого вида измерений является установление локализации неоднородности. Для ее решения необходимо знать факторы, влияющие на погрешность измерения расстояния и способы их уменьшения.

Погрешности измерения МОР с помощью OTDR можно разделить на четыре группы.

1. Связанные с заданием параметров ОК, которые приводятся в справочных данных. Эта группа погрешностей неустранима и она обусловлена технологическим разбросом параметров.

2. Связанные со временем распространения сигнала по ОК. Разница между временем зондирующего и отраженного сигналов определяется дисперсионными искажениями.

3. Связанные с индикацией светового сигнала на дисплее OTDR. Они обусловлены конечным временем нарастания переходной характеристики индикаторного устройства, дробовыми шумами фотоприемного устройства (ФПУ) и тепловыми шумами каскадов стробоскопического преобразования, а также нелинейностью амплитудной характеристики прибора.

4. Случайные погрешности.

Группы погрешностей 2 и 3 носят систематический характер, оцениваются количественно и алгоритмически могут быть уменьшены.

Инструментальные погрешности метода определяются погрешностью отсчёта по осциллограмме уровней измеряемого потока рассеивания, которая составляет $\pm(0,1 \dots 0,3)$ дБ, а также значений расстояний x_1 и x_2 . Для её уменьшения в некоторых приборах отсчёт значений этих величин осуществляется в цифровой форме с помощью встроенных в прибор специализированных микропроцессоров – курсоров.

Основные причины влияющие на механизм излучаемых потерь:

Первая группа причин связана с условиями ввода излучения в ОВ, модового состава зондирующего импульса и частично с уровнем возбуждения направляемых мод высоких порядков. Наличие высших мод приводит к очень большому увеличению рассеянной мощности, если волоконный световод слегка изогнут. Данное обстоятельство может привести к ошибочному выводу о наличии в ОК рассеивающих центров.

Вторая группа причин определяется рассеиванием энергии из-за больших внутренних механических деформаций ОВ, которые могут существенно отличаться при измерениях ОВ, находящегося на барабане, в оптическом кабеле или после прокладки кабеля в грунт (после прокладки ОК в грунт и монтажа ВОЛС функция рассеивания мощности по длине кабеля может меняться).

Третья группа причин связана с дисперсией ОВ, которая должна быть пренебрежительно мала по сравнению с длительностью зондирующего импульса. При несоблюдении этого условия измеряемый на входе ОВ импульс обратного рассеивания расширяется, его амплитуда уменьшается и оценка затухания по МОР даёт другое значение. Поэтому при измерении затухания многомодовых ОВ длительность импульса должна быть не менее 100 нс [6].

Выводы. Таким образом, необходимо, чтобы условия проведения измерений соответствовали условиям нахождения этого ОВ в рабочем режиме. Только при идентичности данных условий получаемые результаты измерения могут быть достоверны. Это объясняется зависимостью большинства механизмов излучаемых потерь от ряда причин, определяемых условиями проведения измерений и эксплуатации ОВ и ОК.

Получены соотношения, позволяющие рассчитать основные параметры для оценки работоспособности ВОЛС и сигнал, обратного рассеивания на оптическом рефлектометре, выражение для расчета времени безотказной работы и расчет предотказового состояния ВОЛС.

Предложен алгоритм выполнения мероприятий при осуществлении контроля работоспособности и устранения повреждений в волоконно-оптической системе передачи. Получено, что за счет выполнения контрольного тестирования увеличивается надежность работ по устранению повреждений в среднем на 5-8%, при этом экономия финансовых затрат, с учетом эксплуатационных расходов, составляет не менее 1,5 %.

ЛИТЕРАТУРА

1. Иванов А.Б. Волоконная оптика: компоненты, системы передачи, измерения. - М.; Компания САЙРУС СИСТЕМС, 1999. - 671 с.
2. Гроднев И.И., Верник С.М. Линии связи: - 5-е изд., пер. и доп.- М.: Радио и связь, 1988.- 544 с.
3. Шикетанц Д. Теория измерений по методу обратного рассеивания в световодах.//Зарубежная радиоэлектроника, 1981. №6.-с.87-94.
4. Григорьянц В.В., Чаморовский Ю.К. Диагностика волоконных световодов и оптических кабелей методом обратного рассеивания. // Радиоэлектроника, т.29, 1982, г., стр. 47-79.
5. Барноски М.К., Персоник С.Д. Измерения в волоконной оптике. ТИИЭР, 1978, 66, №4, - с.75-83.
6. Теумин И.И., Гинзбург С.А. Допустимое число разрывов в оптическом волокне. // ОМП, 1977, № 4, с. 27 - 29.