

УДК 621.396.1

Күзербай Құндыз Құрмашқызы – магистрант (г. Алматы, Казахская академия транспорта и коммуникаций им. М. Тынышпаева)

НАДЕЖНОСТЬ ВОЛС ПРИ ДЕЙСТВИИ НА ОПТИЧЕСКИЕ ВОЛОКНА СЛУЧАЙНЫХ ФАКТОРОВ

Надежность волоконно-оптических линий связи (ВОЛС) – это свойство объекта выполнять заданные функции, сохраняя во времени значения установленных эксплуатационных показателей в заданных пределах, а надежность оптических волокон в составе оптических кабелей (ОК) это их способность в течение заданного срока службы обеспечивать пропускание оптических сигналов с заданным уровнем потерь.

Обеспечение надежности ВОЛС – это комплексная задача, включающая разработку методик оценки, расчета, контроля параметров, технического обслуживания и совершенствование станционного оборудования. Надежность ВОЛС в большей степени зависит от оптических, физико-химических и конструктивных параметров ВОК [1].

Значительное влияние на надежность ВОЛС оказывает влага, в особенности при суровых климатических условиях (сдавливающее воздействие льда). Воздействие влаги происходит также из-за процессов химической коррозии, и разрушение волокна является процессом, зависящим от времени.

Атмосферная влага является основной причиной образования микродефектов на поверхности ОВ в результате процесса селективного гидролиза напряженных химических связей. Влияние влажности на ОВ в полимерном (эпоксикакрилатном) исследована в [2]. Прогрев ОВ при 1000С в течение шести часов (сушка) приводит к повышению прочности σ на 15...20% и достигает величины $\sigma_{об} = 8,3$ ГПа.

Обратный процесс накопления воды (влаги) в эпоксикакрилатном покрытии через несколько часов приводит прочность ОВ к исходному значению, которое зависит от влажности окружающей среды. В частности:

$\sigma_{об} = 7,1$ ГПа при 34% влажности;

$\sigma_{об} = 6,0$ ГПа при 50% влажности.

Аккумулируемая в покрытии влага действует на ОВ как коррозионная среда.

Наибольшее влияние влаги на прочность ОВ проявляется при удалении покрытия. Увеличение потерь в ОВ за счет диффузии водорода происходит как из-за поглощения образующихся дополнительно ОН-групп в результате химических реакций между составляющими материала ОВ и водорода, так из-за собственного колебательного поглощения молекулы H_2 . Установлено, что величина роста потерь зависит от повышенной температуры и состава легирующих добавок материала сердцевинки и оболочки ОВ и особенно от концентрации окисла фосфора (P_2O_5).

Величина роста потерь в ОВ за счет диффузии водорода в реальных условиях эксплуатации не превышает 0,2 дБ/км на $\lambda = 1,3$ мкм.

Особенности ОК характеризуются типом (ступенчатые, градиентные, многомодовые, одномодовые) и числом используемых в них ОВ, строением сердечника кабеля (повивной, фигурной, ленточной), отсутствием или наличием армирующих элементов из металла, устройством защитной оболочки (наличие брони или металла вообще или наличие армирующих элементов в частности, использование нитей СВМ или кевлара), отсутствием или наличием гидрофобного заполнения, отсутствием или наличием металлических жил для дистанционного питания и др. [3]. Интенсивность отказов ОК зависит в значительной степени от того, на каких линиях связи они используются: магистральные, внутризоновые или местные.

Надежность оптоволоконна всегда была одной из основных задач для наружных кабелей связи. Обычно поставщики услуг хотят добиться менее 1 части на миллион (PPM) вероятностей отказов в течение 40 лет для пассивных оптических элементов, используемых в наружных кабелях связи или центральных офисах [4]. В работе предлагается рассматривать надежность ОК комплексно, т.е. изгиб вместе с натяжением. Было выяснено, что диаметр 4,7 мм повышенной прочности кабелей хорошо подходит для развертывания MDU, с вероятностями отказов в диапазоне от 2 частей на миллион для каждого угла 90 градусов.

При определении эксплуатационной надежности ОК необходимо принимать во внимание возможность возникновения обрывов ОВ в результате коррозии. Проверочные испытания ОВ в процессе производства позволяют значительно снизить число отказов ОК, вызванных обрывами ОВ. С помощью приведенных в [5] выражений можно прогнозировать параметры надежности элементы ОКСЛ (параметров ОВ и ОК в целом) с учетом внешних и внутренних причин повреждений.

Качество связи ВОЛСв значительной мере определяется свойствами соединений строительных длин ОВ [6]. Необходимо обеспечить высокую стабильность параметров соединения в течение всего срока службы при заданных условиях эксплуатации. Рассматриваемые в отдельности показатели надежности материалов, которые используются при выполнении компонентов сростков (ОВ, защитные и армирующие элементы и др.), не могут в полной мере охарактеризовать и тем более гарантировать их работу в течение расчетного срока службы. Свойства материалов в сростках отличаются от свойств исходных материалов (из-за технологической обработки сращивания). Соединения, изготовленные в полевых условиях, имеют разброс параметров, зависящий от качества работы исполнителей и отработанности технологии процесса сращивания. Степень разброса и стабильность параметров во времени определяют качество и надежность выполненных соединений.

Прогноз в сетях связи срока службы волокна может быть сделан с использованием безопасного подхода для механической надежности. Она включает в себя поведение скорости роста трещины и подтверждается результатами высокоскоростного испытания на растяжение слабых волокон. Условный предел может быть использован в минимальной прочности конструкции, если время разгрузки короче, чем $0,5 \times 10^{-3}$ [7].

Зависимость роста трещины на интенсивности напряжений является наиболее фундаментальной моделью для прогнозирования надежности. Показано в [8], что различия в допустимых напряжениях предсказаний между моделями может быть довольно большим при больших временных рамках. Физические процессы, приводящие к механическому разрушению показали, что ни одна модель не описывает все ситуации.

В [9] предложен модифицированный закон распределения Вейбулла, учитывающий влияние крупных и мелких дефектов на прочность оптического волокна. Величина долговечности, рассчитанная с использованием предложенного бимодального распределения Вейбулла, позволяет составить прогноз долговечности оптического волокна, находящегося под воздействием заданных эксплуатационных напряжений и хорошо согласуется с экспериментальными данными.

Исследования по улучшению характеристик ОВ, устойчивость ОВ к внешним и внутренним факторам, а также способов по уменьшению отказов системы ВОЛС ведутся, и как показал обзор литературы в данном направлении многие вопросы остаются актуальными, в связи с увеличением скорости передачи. Имеется также проблема износа кабелей, проложенных еще до активного внедрения ВОЛС. Проложить новые ВОЛС иногда не представляется возможным, в связи с экономической неэффективностью.

В работе [10] велись исследования по надежности и долговечности кабелей бывших в процессе эксплуатации в течении года.

В работах [11 - 13] проводились исследования по поиску оптимальной конструкции, удовлетворяющей требованиям надежности и долговечности.

Имеются также большое количество исследований по изготовлению ОВ с наименьшими неоднородностями [14], с предложением переплавления в водородной атмосфере образцов, содержащих отрицательные неоднородности показателя преломления.

Для проведения ускоренных испытаний на надежность, помимо повышения температуры окружающей среды, ускоряющего процесс старения оболочек, необходимо:

- наматывать кабели на катушки или оправки с определенным диаметром, обеспечивающим необходимый коэффициент ускорения с учетом зависимостей, а также полученных расчетным путем зависимостей растяжения поверхности ОВ от параметров оптического модуля;

- обеспечивать во время испытаний влажную среду, создавая наиболее жесткий режим (с точки зрения увеличения предельного поглощения материала оболочки), возможный при эксплуатации [15].

В современных оптических сетях связи используются автоматизированные системы мониторинга (СМ), которые выполняют функцию оперативного контроля технического состояния ВОЛП и своевременного оповещения при возникновении нештатного события. При незначительном удорожании существующих СМ (+1 %) существенно повышается эффективность мониторинга. Высокоточный контроль затухания волокон особенно эффективен при эксплуатации локальных оптических сетей, где рефлектометры малоэффективны [16].

Основными факторами конкурентоспособности аппаратуры на мировом рынке являются не цена изделия, а его качество и требуемый уровень технического обслуживания. Особенно высокие требования по надежности предъявляются к магистральным кабелям с высокой пропускной способностью.

На этапе эксплуатации повышение качества функционирования ВОСП может быть обеспечено введением программно - технических средств частичной или полной автоматизации технической эксплуатации, что позволяет повысить оперативность обнаружения, а также локализации и устранения возникающих неисправностей, что приводит к уменьшению коэффициента простоя системы передачи в целом.

Структурное и поэлементное резервирование, наряду с автоматизацией и централизацией функций технической диагностики в процессе эксплуатации ВОСП, широко используется при создании и внедрении систем и сетей связи за рубежом. Эти идеи постоянно развиваются и совершенствуются, находя свое отражение в рекомендациях МСЭ-Т серии М [17].

Вывод. Даже несмотря на меры, направленные на защиту оптических кабелей от чрезмерной нагрузки, все еще сохраняется опасность того, что кабель будет подвержен большим нагрузкам при работе с ним, в процессе прокладки его обслуживания, т.к. возможные механические воздействия на оптический кабель носят вероятностный характер, вследствие этого местоположение нерегулярностей и их величины имеют случайный характер.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ердембеков М.К., Искаков А.К., Икконен В.И., Кемельбеков Б.Ж., Кемельбеков Т.Б., Мышкин В.Ф., Ниетбаев К.О., Хан В.А., Шмалько А.В. Современные проблемы волоконно-оптических линий связи. Том 4. Волоконно-оптические кабели и линии цифровой связи. Часть 1. – Томск: Издательство ТПУ, 2005. 309 с. Гладких В.А., Кривошеев И.А. Френелевские потери энергии при соединении оптических линий связи. Моделирование систем 2011 #3(29). С.18-25.

2. Gloge D. Optical Fiber Packing and Influence of Fiber Straightness Loss // "BSTJ", 1975, v.54, №2, p.245-262.

3. Dave Mazzaresse, Peter Weimann, Richard Norris, and KariofilisKonstadinidis. Reliability Considerations for Next-Generation Bend-optimized Fibers. International Wire & Cable Symposium. Proceedings of the 57th IWCS. 2008. С.269-278.

4. Андреев В.А., Бурдин В.А., Бурдин А.В., Волков К.А. Проблемы и перспективы применения управляемых дисперсией солитонов для реконструкции волоконно-оптических линий связи. Физика волновых процессов и радиотехнические системы. 2010. Том 13, №3. – С.92-97.

5. Sergey Semjonova and G. Scott Glaesemann. High-Speed Tensile Testing of Optical Fibers— New Understanding for Reliability Prediction. С.595-695.

6. G. M. Bubel, M. J. Matthewson. Optical fiber reliability implications of uncertainty in the fatigue crack growth model. Optical Engineering / June 1991 / Vol. 30 No. 6/ p.737-745.

7. Мильков А.В., Яковлев М.Я. Оценка надежности оптического волокна на основе испытаний на кратковременную прочность и статическую усталость. Системы и средства связи, телевидения и радиовещания, 2002, №1-2, с.86-90.

8. Васильев В.Е., Бондаренко О.В., Ларин Ю.Т., Николаев В.Г. Результаты испытаний оптического кабеля на долговечность. Электросвязь №10, 1985. 29-31.

9. Овчинникова И.А., Семенов П.А. Исследование влияния внешних факторов на элементы конструкций оптических кабелей. 2009, #3 (316), Наука и техника, стр.8-9.

10. Ксенофонтов С.Н. Методика оценки надежности ОК различных конструкций. Электросвязь, 1995, №11, с. 26-27.

11. Brian G. Risch, Shawn Fox, and Richard A. Van Delden. Lifetime Prediction of Fiber Optic Cable Materials for Nuclear Power Applications: Evaluation of Failure Mechanism, End of Life Criteria, and Test Methodology. International Wire & Cable Symposium. Proceedings of the 59th IWCS/ICIT, 2010, p.193-191.

12. Long Han, Xiaosong Wu, Steven R. Schmid, Pratik Shah, Bob J. Overton. Characterization of Tensile Properties of Optical Fibers Coated with a New Generation Coating System and the Comparison of Fatigue Behavior by Tensile Test and Two Point Bending Technique. International Wire & Cable Symposium. Proceedings of the 59th IWCS/ICIT. 2010. P.242-249.

13. Доладугина В.С., Швеченков Ю.А. Влияние водорода на оптическую однородность кварцевого стекла марки КУ1. Оптический журнал, №2, 1994. с.63-67.

14. Ероньян М.А., Злобин П.А., Козлова М.А., Левит Л.Г., Ромашова Е.И., Хохлов А.В., Цибиногина М.К. Санкт-Петербург "Наука" РАН, том 32, №6, 2006. С. 855-862.

15. Овчинникова И.О. Определение надежности оптических кабелей. Журнал "Технологии и средства связи" #3, 2009, стр. 39-41.

16. Салтыков А.Р., Рудницкий, В. Б. Повышение эффективности систем мониторинга ВОЛП. // Фотон-Экспресс. - 2011. - N 5 (93). - С. 16-17.

17. Конструкции, прокладка, соединение и защита оптических кабелей связи. Сектор стандартизации МСЭ. – Женева, 1994.-161с.