

## EVALUATION OF EFFICIENCY OF APPLICATION OF THE ALGORITHM INTELLIGENT CALL MANAGEMENT AT DIFFERENT VARIANTS OF AWARENESS ABOUT THE STATE OF THE CALL CENTERS

Глушак Е.В.

The article is devoted to an experimental research of models of distributed call centre on the basis of simulation modeling. Simulation results are presented that show the quality of service calls in distributed call centers in different variants of awareness about the state of individual call centers, members of the distributed call centers.

*Keywords:* distribution of call centers, information centers, waiting time, time for maintenance, game models, the load factor.

Глушак Елена Владимировна, аспирант Кафедры автоматической электросвязи Поволжского государственного университета телекоммуникаций и информатики. Тел. (8-846) 339-11-39; 309-13-03; 8-917-118-65-66. E-mail: ck-63@elena.by

УДК 621.315.235

## АНАЛИЗ НАДЕЖНОСТИ ПОДЗЕМНЫХ ОПТИЧЕСКИХ КАБЕЛЕЙ ПРИ РАЗЛИЧНОЙ ТЕХНОЛОГИИ ИХ ПРОКЛАДКИ

Андреев В.А., Бурдин В.А., Гаврюшин С.А., Попов Б.В.

Приводится анализ надежности подземных оптических кабелей при прокладке их непосредственно в грунт и в защитном полимерном трубопроводе. На основе расчета срока службы оптического кабеля можно ожидать, что срок службы введенных в эксплуатацию бронированных оптических кабелей, проложенных непосредственно в грунт, будет меньше по сравнению с кабелем, проложенным в защитном полимерном трубопроводе.

*Ключевые слова:* надежность подземных оптических кабелей, срок службы кабеля, оптическое волокно, разрушение.

### Общие положения

На современном этапе развития транспортных сетей на основе волоконно-оптических линий передачи (ВОЛП) основным показателем является их пропускная способность. Сегодня системы передачи со скоростью 100 Гбит/с – это уже рыночный продукт. При этом на транспортных сетях России успешно работают системы спектрального уплотнения DWDM, позволяющие значительно повысить пропускную способность. При столь большом объеме передаваемой информации требования к надежности работы ВОЛП значительно возрастают. В этой связи представляет интерес анализ надежности работы оптических кабелей (ОК), прокладываемых в грунт по двум наиболее часто применяемых в России технологиям: прокладка бронированного кабеля непосредственно в грунт и пневмопрокладка ка-

беля облегченной конструкции в предварительно проложенную защитную полиэтиленовую трубу (ЗПТ).

В работе [1] рассматриваются два подхода к определению надежности ОК. Один подход, заложенный в комплексе стандартов «Климат-7» и основанный на учете изменения характеристик изделия в заданных пределах, базируется на статистических оценках повреждаемости кабельных линий, вероятностей отказов элементов конструкции ОК и на положении о том, что существует определенная вероятность отказов кабельных изделий (гамма-процентный ресурс). Другой подход, регламентированный отраслевым стандартом ОСТ 16 0.800.305–84 «Кабели, провода и шнуры. Общие требования по надежности. Методы оценки соответствия требованиям по надежности» [2], опирается на критерии потери работоспособности изделия и однозначно устанавливает требования по минимальной наработке и минимальному сроку работоспособности в пределах установленного минимального срока службы.

Известны работы, посвященные прогнозу надежности волоконно-оптических кабельных линий связи как на основе первого или второго подходов, так и на основе их совместного применения [3-8]. В работе [8] дано сравнение этих двух подходов к прогнозу надежности ОК.

В настоящей статье проводится сравнение прогнозируемых значений срока службы ОК в процессе эксплуатации волоконно-оптических

кабельных линий для двух способов прокладки – непосредственно в грунт бронированного ОК и ОК облегченной конструкции в ЗПТ.

### Прогноз срока службы ОК на участке ВОЛП, введенной в эксплуатацию

Практика эксплуатации ВОЛП показывает, что в основном надежность ОК на линии определяется основным элементом – оптическим волокном (ОВ) [8]. Соответственно, будем считать, что срок службы ОК в процессе эксплуатации равен сроку службы ОВ в проложенном кабеле. Полагая, что в процессе эксплуатации ОК скорость изменения внешних условий невелика, для расчета срока службы ОВ в кабеле можно воспользоваться хорошо зарекомендовавшей себя двухстадийной моделью [10-14]:

$$\sigma^{N_i-2} = \sigma_0^{N_i-2} - \frac{t-t_0}{B_i} \sigma_a^{N_i}, \quad (1)$$

$$\begin{cases} i=1, \sigma_a / \sigma < r, \\ i=2, \sigma_a / \sigma \geq r, \end{cases} \quad (2)$$

где  $B_i$  – константа, учитывающая параметры статической усталости волокна для соответствующих условий окружающей среды, коэффициент интенсивности напряжений и геометрию дефекта на  $i$ -ой стадии;  $N_i$  – параметр статической усталости кварцевого ОВ на  $i$ -ой стадии;  $\sigma_a$  – нагрузка, прикладываемая к ОВ;  $\sigma$  – прочность ОВ в текущий момент времени;  $\sigma_0$  – исходная прочность ОВ в начальный момент времени  $t_0$ ;  $t$  – текущий момент времени;  $r = \sigma_a / \sigma$ . Типичные значения параметров, необходимых для расчета срока службы кварцевых ОВ [10-14], приведены в таблице 1.

Таблица 1. Параметры для расчета срока службы кварцевых ОВ

Параметр	Значение
Уровень напряжений при испытаниях на разрыв, ГПа	0,7
Пределы изменений $N_1$	18 – 25
Среднее значение $N_2$	4,5
$r$	0,645
$B_1$ , ГПа <sup>2</sup> ·с	$4,5 \cdot 10^{-5}$
$B_2$ , ГПа <sup>2</sup> ·с	0,0082

Задавая исходную (инертную) прочность ОВ, приложенную к ОВ нагрузку и интервал времени

$\Delta t = t - t_0$ , можно рассчитать прочность ОВ в конце заданного интервала времени. Предполагается, что ОВ будет разрушено при условии [9, 14]:

$$\sigma \leq \sigma_a. \quad (3)$$

Подставляя в (1)  $\sigma = \sigma_a / r$ , после преобразований получаем выражение для расчета длительности  $\Delta t_1$  первой стадии разрушения ОВ:

$$\Delta t_1 = \frac{\sigma_0^{N_1-2} - (\sigma_a / r)^{N_1-2}}{\sigma_a^{N_1}} B_1. \quad (4)$$

На рис. 1 приведены результаты вычислений зависимости длительности первой стадии разрушения ОВ от величины нагрузки, приложенной к ОВ, в предположении, что исходная прочность ОВ равна напряжению, прикладываемому при испытаниях на разрыв,  $\sigma_0 = 0,7$  ГПа. Принимая  $\sigma = \sigma_a$ , после некоторых преобразований получаем выражение для расчета длительности  $\Delta t_2$  второй стадии разрушения ОВ:

$$\Delta t_2 = \frac{(1/r)^{N_2-2} - 1}{\sigma_a^2} B_2. \quad (5)$$

На рис. 2 приведены результаты вычислений зависимости длительности второй стадии разрушения ОВ от величины нагрузки, приложенной к ОВ.

Из анализа результатов вычислений следует, что временем разрушения на второй стадии можно пренебречь, приняв в качестве оценок срока службы ОВ оценки длительности первой стадии разрушения и в дальнейшем при анализе срока службы ОК ограничиться расчетами по формуле (4).

Проведенный сравнительный анализ технологий прокладки ОК непосредственно в грунт и пневмозадудки в ЗПТ показал, что при пневмопрокладке ОК в ЗПТ превышение допустимых нагрузок на кабель практически полностью исключается. Для этой технологии можно считать, что срок службы кабеля полностью определяется нагрузками на ОВ, создаваемыми на изгибах ОВ в кабеле при колебаниях температуры из-за избыточной длины ОВ, которая ограничивается выбором параметров конструкции кабеля. Расчеты по формуле (4) показали, что срок службы ОВ не превышает 25 лет, если приложенная к ОВ нагрузка более 0,2127 ГПа. Следует ожидать, что для заданного по техническим условиям на ОК диапазона температур окружающей среды при эксплуатации кабеля в ЗПТ напряжения в ОВ в кабеле не превышают 0,21 ГПа. Это значение в целом согласуется с оценками, приведенными в [14-16].

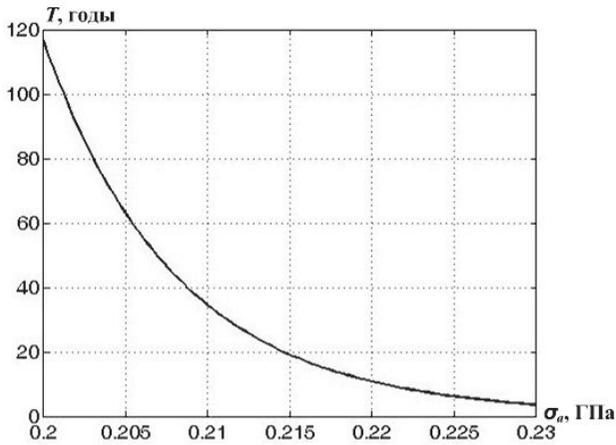


Рис. 1. Длительность первой стадии разрушения кварцевого ОВ

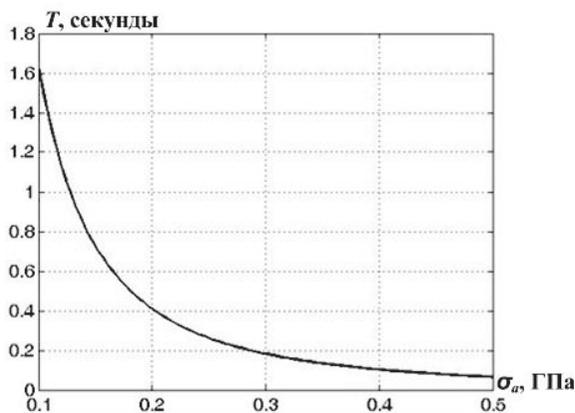


Рис. 2. Длительность второй стадии разрушения кварцевого ОВ

При прокладке бронированного кабеля непосредственно в грунт на ОК действуют различного рода механические нагрузки, величины которых могут превышать допустимые (в первую очередь растягивающие и сдвливающие нагрузки). Из-за неоднородности грунта, наличия камней, корней деревьев и т.п. при движении мехколонны могут иметь место рывки, которые приводят к значительным динамическим нагрузкам на кабель. Чтобы предотвратить превышение допустимых нагрузок на кабель, перед прокладкой ОК непосредственно в грунт рекомендуется проводить предварительную пропорку грунта на заданную глубину 1,2 м, а при его прокладке необходимо обеспечивать:

- принудительное вращение барабана в момент начала движения кабелеукладчика и синхронизованную его размотку;
- ограничение боковых давлений на кабель за счет применения различного рода мероприятий и конструкций, снижающих трение (например, использование в кассетах специальных роликовых направляющих устройств, обеспечивающих

минимально допустимый радиус изгиба ОК, размещение роликов кассеты так, чтобы уменьшить радиальное давление на кабель);

- допустимый радиус изгиба ОК от барабана до укладки на дно щели на всем участке подачи кабеля через кассету;

- исключение случаев засорения кассеты кабелеукладочного ножа и остановок вращения барабана при движении кабелеукладчика.

Кроме того, при переходах через препятствия осуществляется перемотка кабеля, в процессе которой необходимо строго контролировать радиус изгиба ОК. При радиусах изгиба ОК при перемотке меньше допустимого кабель подвергается нагрузкам, которые превышают допустимые.

При реализации вышеперечисленных мер по ограничению нагрузок при прокладке ОК непосредственно в грунт высока роль человеческого фактора. Как следствие, имеет место достаточно большая вероятность нарушения технологии и превышения допустимых нагрузок. При превышении допустимых нагрузок на ОК снижается прочность ОВ и, кроме того, в кабеле формируются остаточные деформации и напряжения на ОВ, которые сокращают срок службы ОК. Данный вывод подтверждается результатами обследования участков трассы кабельной линии с использованием бриллоновского импульсного оптического рефлектометра (BOTDR), позволяющего выявлять участки кабеля с повышенными остаточными деформациями ОВ в кабеле [14-17].

В качестве примера на рис. 3 представлены результаты измерений BOTDR на участках с остаточными деформациями ОВ в кабеле, полученные при обследовании участка кабельной линии протяженностью 94,21 км, на котором в зоне длиной 2,6 км были выявлены локальные остаточные напряжения ОВ в кабеле до 0,30-0,48%.

Выполненные по формуле (1) расчеты прочности ОВ после воздействия статической нагрузки в зависимости от длительности ее приложения и отношения ее величины к значению 0,21 ГПа, принятому за допустимое (полагали, что интервал времени приложения нагрузки изменялся от 1 до 30 с), показали, что даже кратковременное превышение допустимой нагрузки (в течение менее 30 с) может привести к существенному снижению прочности волокна, вплоть до его полного разрушения. На рис. 4 приведены результаты вычислений по формуле (4) срока службы ОВ в кабеле в зависимости от начальной прочности ОВ и остаточных напряжений в ОВ. Начальная прочность задавалась ее отношением к исходной прочности ОВ 0,7 ГПа, а остаточные напряжения

– отношением их величины к их допустимому значению, которое полагали равным 0,21 ГПа.

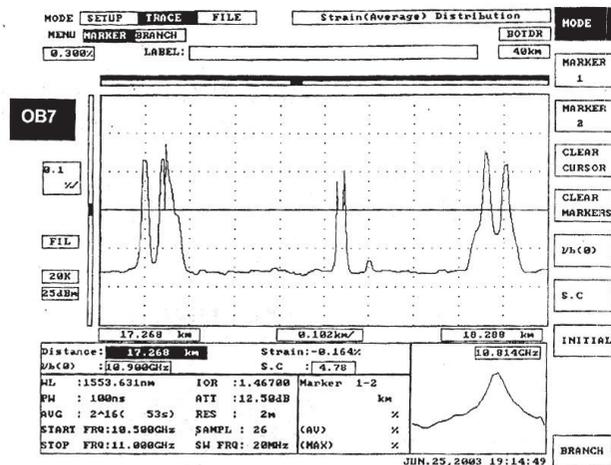


Рис. 3. Пример результатов измерений BOTDR

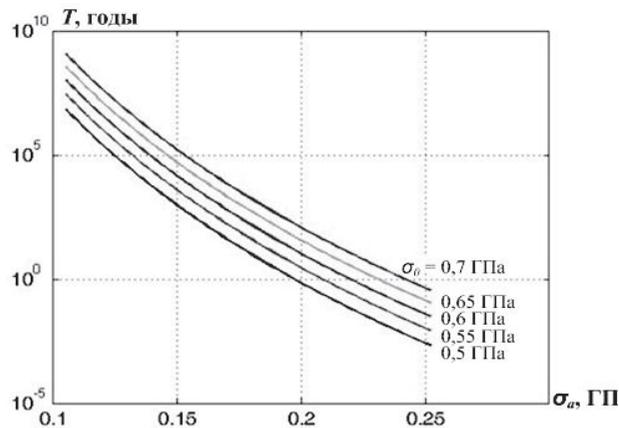


Рис. 4. Зависимость срока службы ОВ в кабеле в зависимости от начальной прочности ОВ и остаточных напряжений в ОВ

## Заключение

Проведенный по результатам расчета срока службы ОВ в кабеле, который является одним из основных параметров надежности ОК, анализ показал, что даже кратковременное превышение допустимых нагрузок на кабель может существенно сократить срок его службы. Бронированные ОК по сравнению с кабелями облегченной конструкции более стойки к механическим воздействиям. Однако при прокладке бронированных ОК непосредственно в грунт вероятность кратковременного превышения допустимых нагрузок существенно больше, чем при пневмопрокладке ОК облегченной конструкции. Как следствие, учитывая представленные выше результаты вычислений, следует ожидать, что срок службы введенных в эксплуатацию бронированных ОК,

положенных непосредственно в грунт, будет меньше по сравнению с ОК облегченной конструкции, положенными в ЗПТ методом пневмопрокладки.

## Литература

1. Ларин Ю.Т. Сравнительный анализ двух подходов к оценке надежности оптических кабелей // Кабели и провода. № 2 (315), 2009. – С. 3-7.
2. ОСТ 16 0.800.305–84 «Кабели, провода и шнуры. Общие требования по надежности. Методы оценки соответствия требованиям по надежности».
3. Петров Ю.М. Надежность функционирования ВОЛС-ВЛ при низких температурах окружающей среды // Электросвязь. № 3, 1999. – С. 14-15.
4. Воронцов А.С., Коршунов В.Н., Цым А.Ю. Оценка долговечности ВОЛС // Электросвязь. № 2, 1999. – С. 9-13.
5. Алексеев Е.Б. Концепция технической эксплуатации цифровых волоконно-оптических систем передачи по критерию надежности // Фотон-экспресс. №2-3 (34-35), 2004. – С. 32-33.
6. Богданова О.И., Механошин Б.И., Орешкин А.В. Прогнозирование срока службы подвесных кабельных систем. Механические нагрузки на оптические волокна // Lightwave RE. №3, 2006. – С. 14-19.
7. Никитин Б., Стогов Е. Некоторые аспекты эксплуатации и надежности ВОЛС // Первая мила. №2-3, 2008. – С. 54-59.
8. Koga H., Kuwabara T., Mitsunaga Y. Future maintenance systems for optical fiber cable // ICC'91, 11A.3.7, 1991. – P. 0323-0329.
9. ГОСТ 27.602–89. Надежность в технике. Основные понятия. Термины и определения.
10. Hanson T.A., Glaesemann G.S. Incorporating multi-region crack growth into mechanical reliability predictions for optical fibres // Journal of materials science. V.32, 1997. – P. 5305-5311.
11. Semjonov S.L., Bubnov M.M. Influence of recent high-speed strength testing data on the concept of reliability of optical fiber in telecommunication line // SPIE Proceedings. V. 4083, 2000. – P. 8-15.
12. Semjonov S.L. Concept of reliability of optical fibers // SPIE Proceedings. V. 4639, 2002. – P. 1-10.
13. Glaesemann G.S., Clark D.A., Hanson T.A., Wissuchek D.J. High speed strength testing of optical fiber // Corning Inc. 14831, 2003. – 12 p.
14. Semjonov S.L., Glaesemann G.S. High-speed tensile testing of optical fibers – new

- understanding for reliability prediction // Berlin: Springer, Micro- and Opto-Electronic Materials and Structures: Physics, Mechanics, Design, Reliability, Packaging. V.1, 2007 – P. 595-626.
15. Ситнов Н.Ю., Горлов Н.И. Анализ современного состояния техники ранней диагностики ВОЛП // Инфосфера. №46, 2010. – С. 5-12.
16. Длютров О.В. Исследование механического состояния оптического волокна неразрушаю- щими методами контроля относительного удлинения в процессе производства оптических кабелей: Дис. к.т.н. МЭИ (ТУ), 2004.– 187 с.
17. Корн В.М., Длютров О.В., Авдеев Б.В., Барышников Е.Н. О применении метода Мандельштам-Бриллюэновского рассеяния для измерения характеристик оптических кабелей // Кабели и провода. № 5 (288), 2004. – С. 19-21.

## RELIABILITY ANALYSIS OF UNDERGROUND FIBER OPTIC CABLES OF DIFFERENT TECHNOLOGIES OF INSTALLATION

Andreev V.A., Burdin V.A., Gavryushin S.A., Popov B.V.

The analysis of reliability of optical cables and in the underground duct is provided. Based on theoretical calculation the life time of optical cable installed in underground duct will be higher than for tradition methods.

**Keywords:** reliability of underground optical cables, cable life time, optical fiber, destruction.

Андреев Владимир Александрович, д.т.н., профессор, ректор Поволжского государственного университета телекоммуникаций и информатики (ПГУТИ). Тел. (8-846) 333-58-56, 339-11-00. E-mail: andreev@psati.ru

Бурдин Владимир Александрович, д.т.н., профессор, проректор на науке и инновациям ПГУТИ. Тел. (8-846) 332-21-61. E-mail: burdin@psati.ru

Гаврюшин Сергей Александрович, зав. лабораторией базовой кафедры ОАО «Ростелеком» «Инновационные технологии телекоммуникаций» ПГУТИ. Тел. (8-846) 228-00-66. E-mail: gavrushin-sa@psuti.ru

Попов Борис Владимирович, к.т.н., профессор Кафедры линий связи и измерений в технике связи ПГУТИ. Тел. (8-846) 228-00-27. E-mail: popov\_bv@psati.ru; inkat@inbox.ru

УДК 621.393

## ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ НЕЛИНЕЙНО-ДИСПЕРСИОННОГО КАНАЛА СРЕДСТВАМИ ТЕНЗОРНОГО И ВЕКТОРНОГО АНАЛИЗА

Лебедянцев М.В.

В работе используется физическая модель нелинейно-дисперсионного канала связи в виде цепочки каскадно-соединенных линейных инерционных и нелинейных безынерционных четырехполюсников. Показана возможность математического описания такой модели функциональной матрицей, элементы которой являются функциями входных сигналов. На базе функциональной матрицы построена тензорная модель нелинейно-дисперсионного канала в форме криволинейной многомерной поверхности. Проведен анализ свойств модели средствами векторного анализа. Описан способ оптимизации сигналов с использованием тензор-производной векторного поля выходных сигналов нелинейно-дисперсионного канала.

**Ключевые слова:** нелинейно-дисперсионный канал связи, каскадная модель нелинейно-дисперси-

онного канала, тензорная модель канала, поле векторов сигналов.

### Введение

Нелинейно-дисперсионные каналы (НДК) характеризуются рассеянием энергии сигналов как по уровню, так и во времени. К такому типу каналов можно отнести световодные каналы, гидроакустические каналы, кабели с ферромагнитным покрытием жил и другие среды распространения. Наиболее существенно нелинейные эффекты проявляются при мощных входных воздействиях, когда НДК обладают целым рядом специфических свойств, которыми линейные каналы принципиально не могут обладать. В частности, в такого рода каналах могут распространяться со-