

Sultanov Albert Khanovich, Doctor of Technical Science, Professor, Head of the Department of Telecommunication Systems, Ufa State Aviation Technical University, Ufa, Russian Federation. Tel.: +73472730689; E-mail: tks@ugatu.ac.ru.

Chernykh Valeriy Vitalievich, Ph.D., researcher, Technical University of Dresden (Technische Universität Dresden), Dresden, Germany. Tel.: +4935146332134; E-mail: Valerij.Tchernykh@tu-dresden.de

УДК 629.783

ОПТИЧЕСКАЯ ГЕНЕРАЦИЯ СВЕРХШИРОКОПОЛОСНОГО СИГНАЛА ДЛЯ ROF СИСТЕМ

Андреанова А.В.¹, Мешков И.К.¹, Султанов А.Х.¹, Черных В.В.²

¹ Уфимский государственный авиационный технический университет, Уфа, РФ

² Дрезденский технический университет, Дрезден, Германия

E-mail: annette210590@gmail.com

В статье предлагается метод генерации сверхширокополосного (СШП) сигнала для Radio-over-Fiber (RoF) систем. Рассматривается совместное использование СШП технологии передачи данных и технологии RoF для передачи трех независимых каналов. При использовании СШП технологии совместно с технологией RoF возникает проблема выбора метода генерации СШП радиоимпульса, который бы позволил максимально эффективно использовать существующие сети FTTX (fiber to the x – оптоволокну до точки x) для передачи мультимедийного высокоскоростного контента. В работе схема имитационной модели, позволяющая сгенерировать IR-UWB (impulse radio ultra-wideband – сверхширокополосный радиоимпульс) сигнал, соответствующий спектральной маске Государственной комиссии по радиочастотам (ГКРЧ). В схеме реализуется оптическая генерация трех отдельных IR-UWB каналов, частоты которых смещены на 4,5 ГГц, 7 ГГц и 9,5 ГГц. Приводится зависимость коэффициента битовых ошибок (BER – bit error rate) от принимаемой оптической мощности для разных длин SMF - волокна.

Ключевые слова: сверхширокополосный сигнал, radio-over-fiber, передача сверхкоротких импульсов, гауссовский импульс, коэффициент битовых ошибок, маска ГКРЧ, спектральная плотность мощности, модулятор Маха-Цендера.

DOI: 10.18469/ikt.2015.13.2.04.

Андреанова Анна Владимировна, м.н.с., аспирант Кафедры телекоммуникационных систем (ТКС) Уфимского государственного авиационного технического университета (УГАТУ). Тел. (8-963) 133-65-27. E-mail: annette210590@gmail.com

Мешков Иван Константинович, к.т.н., доцент Кафедры ТКС УГАТУ. Тел. 8-927-927-92-85. E-mail: mik.ivan@bk.ru

Султанов Альберт Ханович, д.т.н., профессор, заведующий Кафедрой ТКС УГАТУ. Тел. 8-347- 273-06-89. E-mail: tks@ugatu.ac.ru

Черных Валерий Витальевич, к.т.н., научный сотрудник Дрезденского технического университет (Technische Universität Dresden). Тел. +493-514-633-21-34. E-mail: valerij.tchernykh@tu-dresden.de

Получено 25.03.2015

УДК 621.315

ИССЛЕДОВАНИЕ ПОВЕДЕНИЯ ОПТИЧЕСКИХ ВОЛОКОН В МОДУЛЯХ КАБЕЛЯ ПРИ ДЕФОРМАЦИИ

Никулина Т.Г.

Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики, Самара, РФ

E-mail: ntg81@list.ru

Рассматривается поведение оптических волокон в модуле при его деформации. Показано, что резкое увеличение затухания волокон модуля вызвано перегибами волокна на волокне. Определены радиусы таких изгибов.

Ключевые слова: оптический кабель, модуль, изгиб, оптическое волокно.

Введение

Наиболее часто применяемая конструкция оптического кабеля (ОК) в России – это кабель «модульной» конструкции (рис. 1), сердечник которого представляет собой повив модульных трубок, в каждой из которых свободно уложены оптические волокна (ОВ). В процессе строительства и эксплуатации на ОК воздействуют различные механические нагрузки, в том числе и раздавливающие.

Результаты ранее выполненных исследований [1-2] показали, что при деформации модулей в конструкции ОК, вызванной раздавливающими нагрузками, прирост затухания волокон становится ощутимым (более 0,05 дБ) только при значительных деформациях модуля. Для практики производства и эксплуатации ОК представляют интерес причины, вызывающие прирост потерь ОВ.

В работах [3-4] представлены результаты исследований прироста потерь ОВ при деформации модулей, выполненных из различных материалов. Однако в данных исследованиях рассматривается модель с одним ОВ в модуле, то есть не рассматривается влияние на ОВ других волокон. В настоящее время в кабелях модульной конструкции в каждом модуле, как правило, находится от 4 до 12 ОВ. Очевидно, что могут быть различия в поведении одного ОВ и пучка волокон.

В данной работе рассматривается поведение пучка оптических волокон при деформации модулей.

Анализ возможных причин прироста затухания ОВ при деформации модуля

Как уже было сказано выше, раздавливающие нагрузки, воздействующие на ОК и вызывающие его деформацию, приводят к деформации оптических модулей в сердечнике ОК (см. рис. 1а и рис. 1б). При деформации модульной трубки в кабеле оптические волокна также начинают испытывать негативные воздействия, что приводит при определенной степени деформации к резкому увеличению потерь ОВ [1-2].

При этом характер увеличения затухания волокон является скачкообразным. Это хорошо иллюстрируют графики на рис. 2. Как видно до некой критической деформации прирост затухания ОВ незначительный и не превышает 0,05 дБ. Но начиная с некоторых деформаций затухание сразу, почти экспоненциально, растет. Рассмотрим следующие предположения относительно поведения волокон в модуле при его деформации:

- оптические волокна расположены прямолинейно, прирост затухания обусловлен микро-

изгибами на шероховатостях соприкасающейся с волокнами поверхности модуля;

- при деформации модуля возникают изгибы малых радиусов при перегибе волокна на волокне.



а)



б)

Рис. 1. Положение модулей в ОК:
а) ОК не деформирован; б) ОК деформирован в поперечной плоскости на 3,5 мм

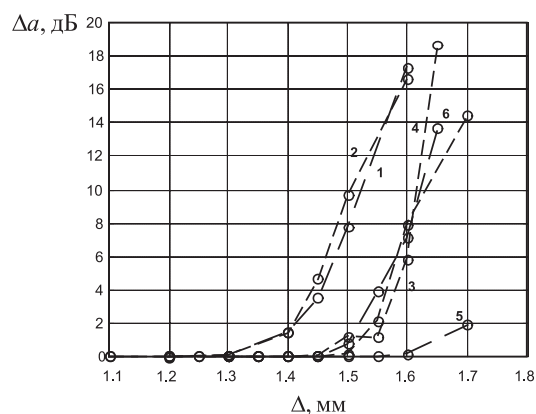


Рис. 2. Зависимости прироста затухания $\Delta\alpha$ волокон модуля от деформации Δ

Если верно первое предположение и при деформации модуля ОВ расположены прямолинейно, то прирост затухания волокон может быть вызван только микроизгибами, обусловленными шероховатостью соприкасающейся с волокнами поверхности. В этом случае при деформации модуля с одним ОВ характер кривой потерь должен быть схож с зависимостями на рис. 2. Если прирост затухания вызван перегибами волокна на

волокне, то при деформации модуля с одним ОВ значительного прироста затухания наблюдаться не должно.

Для того, чтобы понять, каким образом располагаются волокна в деформированном модуле, из конструкции кабеля, предназначенного для внешней прокладки, был извлечен модуль, имевший прозрачные стенки. В модуле содержалось четыре оптических волокна. Модуль был деформирован при помощи плоскопараллельных пластин в тисках, и затем был выполнен снимок, на котором при увеличении хорошо видно расположение пучка ОВ.

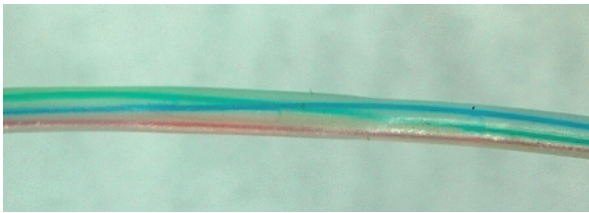


Рис. 3. Расположение волокон в деформированном модуле с 4 ОВ

Как видно на фотографии рис. 3, два волокна расположены в модуле прямолинейно, а два волокна – крест-накрест относительно друг друга. Таким образом, результаты анализа снимков деформированных модулей косвенно подтверждают второе предположение - прирост затухания обусловлен изгибами волокна на волокне. Для окончательного подтверждения данной гипотезы был выполнен еще один эксперимент.



Рис. 4. Схема расположения волокон на резиновых прокладках

Два ОВ располагались крест-накрест между двумя резиновыми прокладками так, как это показано на рис. 4 (вид сверху). К одному из волокон подваривались измерительные катушки, и волокно подключалось к оптическому рефлектометру OTDR Ando AQ7260. Прокладки зажимались в параллельных пластинах в тисках. Затем тиски сдавливались, при этом контролировался прирост затухания ОВ. По результатам эксперимента был построен усредненный график зависимости прироста затухания ОВ от деформации (см. рис. 5).

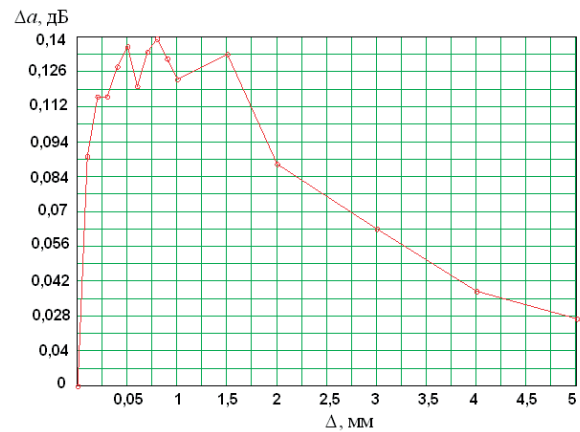


Рис. 5. Зависимость прироста затухания ОВ от приложенной к резиновым прокладкам деформации

Как видно из графика рис. 5, при деформации пластинок сначала наблюдается резкий прирост затухания в исследуемых волокнах, затем затухание практически не меняется, а начиная с деформации в 1,5 мм прирост затухания начинает уменьшаться. Тщательный осмотр образцов по окончании эксперимента показал, что ОВ продавили резиновую поверхность пластинок, чем и было вызвано снижение прироста потерь. Затем аналогичный эксперимент повторили с одним волокном, которое располагалось на прокладках прямолинейно. Прирост затухания ОВ был меньше погрешности измерительного прибора (менее 0,05 дБ) и не был зафиксирован.

Таким образом, результаты эксперимента подтвердили сделанное предположение о том, что резкое увеличение затухания ОВ при деформации модуля в большей степени вызвано перегибами волокон друг на друге. Однако оставался открытым вопрос о том, с каким радиусом изгибаются ОВ.

Исследование радиуса изгиба волокна на волокне

Для того, чтобы ответить на вопрос о том, с каким радиусом изгибаются ОВ при деформации модуля, рассмотрим следующую схему (см. рис. 6).

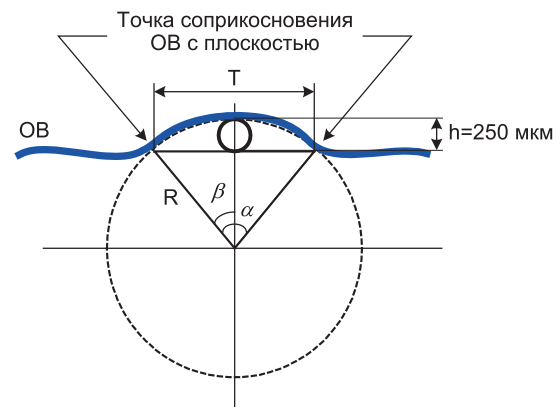


Рис. 6. Схема изгиба волокна на волокне

Как видно на рис. 6, радиус изгиба ОВ зависит от высоты h и длины участка T между двумя точками соприкосновения волокна с поверхностью плоскости. Зная T и h , можно определить радиус изгиба R :

$$R = \frac{(T/2)^2 + h^2}{2h}. \quad (1)$$

При перегибе одного волокна на другом высота h равна диаметру ОВ в акриловом покрытии и составляет 250 мкм. Для расчета радиуса изгиба требуется определить длину участка T , при котором прирост затухания ОВ превышает порог в 0,05 дБ. Для определения значения T была использована разработанная экспериментальная установка, схема которой приведена на рис. 7. Одно волокно изгибалось на другом на гладкой отшлифованной пластине. Изгибаемое волокно прижималось к пластине демпферами. По миллиметровой шкале определялись точки соприкосновения изгибаемого ОВ с пластиной. С двух сторон к изгибаемому волокну подваривались ОВ на двух катушках протяженностью по 400 м. Первоначально демпферы располагались так, чтобы при изгибе волокна на волокне не наблюдалось прироста затухания в исследуемом образце ОВ.

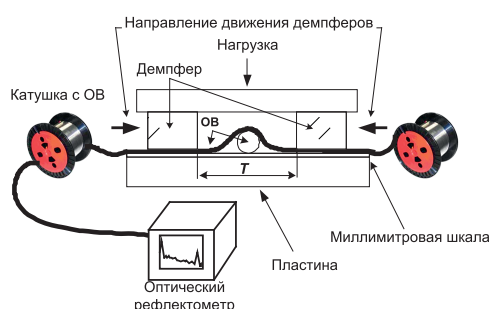


Рис. 7. Схема экспериментальной установки для определения радиуса изгиба волокна на волокне

Затем демпферы сдвигались по направлению друг к другу на 2 мм, и проводились повторные измерения. После этого демпферы снова сдвигались с шагом 2 мм, и снова выполнялись измерения прироста затухания ОВ. Поскольку волокно обладает жесткостью, при достижении определенного радиуса изгиба оно может сломаться. Это вносит ограничения на минимальное расстояние между демпферами. Минимальное расстояние между демпферами T в описываемом эксперименте составляло 2 мм. Всего прирост затухания ОВ измерялся для четырех значений T .

Измерения прироста затухания при этом выполнялись по методике измерений затухания волокон на короткой кабельной вставке [5]. Увели-

чение затухания при деформации определялось как разность между оценками, определенными при полном отсутствии изгиба образца ОВ и после изгиба волокна на волокне на определенном расстоянии T . Измерения выполнялись на длине волны 1550 нм. Для каждого значения T было выполнено по пять измерений. Усредненные значения прироста потерь на изгибе ОВ приведены в таблице 1.

Таблица 1. Зависимость прироста затухания ОВ от величины T ($\lambda = 1550$ нм)

$\lambda = 1550$ нм	$\Delta\alpha$, дБ
N	
Без изгиба	0
$T = 0,6$ см	0
$T = 0,4$ см	0,043
$T = 0,2$ см	0,32

При уменьшении радиуса изгиба ОВ до 2 мм наблюдалось резкое увеличение затухания. Такой же характер прироста потерь наблюдается и при деформации модуля с волокнами. Резкое увеличение затухания наблюдается только при достижении критической деформации модуля, до этого значения потери ОВ не превышают погрешности измерения рефлектометром. В таблице 2 приведены значения радиусов изгиба R , рассчитанные по (1).

Таблица 2. Значения T и R

T , см	R , мм
0,6	18,1
0,4	8,1
0,2	2,1

Как видно из таблиц 1-2, прирост затухания в волокне фиксируется при радиусе изгиба волокна на волокне менее 8 мм.

Заключение

В работе выдвинута и подтверждена гипотеза о том, что при деформации модулей ОК резкое увеличение потерь ОВ в модулях в большей степени вызвано перегибами волокон друг на друге, чем микроизгибами на шероховатости поверхности модуля. Определены радиусы таких изгибов. Показано, что ощутимое увеличение затухания (более 0,05 дБ) наблюдается при радиусах перегиба волокон от 8 мм и менее.

Литература

1. Никулина Т.Г., Лиманский Н.С., Никулин А.Г. Исследование приращений затухания ОВ при деформациях модуля оптического кабеля // ИКТ. Т.7, №2, 2009. – С. 46-49.
2. Andreev V.A., Burdin V.A., Gavryushin S.A., Nikulina T.G. Investigation of the optical buffer tube deformation influence on fiber attenuation property loss // Proceedings of SPIE. 2009. Vol. 7374. – P. 73740I-1-73740I-6.
3. Ларин Ю.Т. Оптические кабели: методы расчета конструкций. Материалы. Надежность и стойкость к ионизирующему излучению. М.: Престиж, 2006. – 304 с.
4. Гроднев И.И., Ларин Ю. Т., Теумин И.И. Оптические кабели. М.: Энергоатомиздат, 1991. – 264 с.
5. РД 45.180-2001. Руководство по проведению планово-профилактических и аварийно-восстановительных работ на линейно-кабельных сооружениях связи волоконно-оптических линий передачи. М.: Министерство РФ по связи и информатизации, 2001. – 36 с.

Получено 20.01.2015

Никулина Татьяна Геннадьевна, к.т.н., доцент Кафедры линий связи и измерений в технике связи Поволжского государственного университета телекоммуникаций и информатики. Тел. 8-927-742-07-42. E-mail: ntg81@list.ru

RESEARCH OF OPTICAL FIBERS BEHAVIOR IN FIBER OPTIC CABLE LOOSE TUBES UNDER DEFORMATION

Nikulina T.G.

Povolzhskiy State University of Telecommunication and Informatics, Samara, Russian Federation

E-mail: ntg81@list.ru

Fiber optic cables with multiunit core composed of loose tubes with optical fibers are widely used over networks installed in Russia. There are different mechanical loads including crushing load that influence on fiber optic cables during their installation. Early on papers only single fiber loss increasing was considered due to cable deformation produced by crushing load. However, conventional fiber optic cables usually contain from 4 to 12 optical fibers in each loose tube. Therefore, this work concerns on research of fiber bundle behavior under loose tube deformation. A supposition was made and then proved, that during loose tube deformation a sharp increase of fiber loss is caused by fiber-to-fiber bends instead of microbends due to loose tube surface undulation. Those radiuses of fi-ber-to-fiber bends are determined. Sharp increase of fiber loss (more than 0.05 dB) occurs under fiber-to-fiber bend radius as less than 8 mm.

Keywords: optical cable, loose tube, bend, optical fiber.

DOI: 10.18469/ikt.2015.13.2.05.

Nikulina Tatiana Gennadyevna, PhD in Technical Science, Associated Professor of the Department of Communication Lines, Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics, Samara, Russian Federation. Tel. +7 927 7420742. E-mail: ntg81@list.ru

References

1. Nikulina T.G., Limanskij N.S., Nikulin A.G. Issledovanie prirashhenij zatuhanija OV pri deformacijah modulja opticheskogo kabelja [Investigations of fiber attenuation increasing due to optical cable tight buffer deformations] *Infokommunikacionnye tehnologii*, 2009, vol. 7, no. 2, pp. 46-49.
2. Andreev V.A., Burdin V.A., Gavryushin S.A., Nikulina T.G. Investigation of the optical buffer tube deformation influence on fiber attenuation property loss. *Proceedings of SPIE*, vol. 7374, 2009, pp. 73740I-1-73740I-6. doi: 10.1117/12.829037
3. Larin Ju.T. *Opticheskie kabeli: metody rascheta konstrukcij. Materialy. Nadezhnost' i stojkost' k ionizirujushhemu izlucheniju* [Optical cables: structures calculation methods. Materials. Durability and resistance to ionizing radiation]. Moscow, Prestizh Publ., 2006. 304 p.
4. Grodnev I.I., Larin Ju. T., Teumin I.I. *Opticheskie kabeli* [Optical cables]. Moscow, Jenergoatomizdat Publ., 1991. 264 p.

5. RD 45.180-2001. *Rukovodstvo po provedeniju planovo-profilakticheskikh i avarijno-vosstanovitel'nyh rabot na linejno-kabel'nyh sooruzhenijah svyazi volokonno-opticheskikh linij peredachi* [Guidelines for maintenance and emergency recovery work on the cable structures of fiber-optic communication lines]. Moscow, Ministerstvo RF po svyazi i informatizacii, 2001. 36 p.

Received 20.01.2015

УДК 621.396.9

СИСТЕМА ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ДЛИТЕЛЬНОСТИ ОЖИДАНИЯ ПОДТВЕРЖДЕНИЙ В ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННОЙ СЕТИ

Польщиков К.А.

Белгородский государственный национальный исследовательский университет, Белгород, РФ

E-mail: polshchikov@bsu.edu.ru

Статья посвящена разработке системы, предназначенной для прогнозирования длительности ожидания подтверждений в телекоммуникационной сети. Система базируется на применении четырехслойной нейронной сети, функционирующей на основе нечетких правил. Представлена функциональная схема системы, сформированы обучающие данные, полученные путем измерения длительности ожидания подтверждений на пакеты заданного потока данных в реальной телекоммуникационной сети. Предложенная система предназначена для оценки загруженности телекоммуникационной сети, а также для управления интенсивностью отправки данных и повторных передач.

Ключевые слова: нейро-нечеткая система, длительность ожидания подтверждений, прогнозирование, телекоммуникационная сеть.

Введение

В телекоммуникационных сетях с коммутацией пакетов для обеспечения достоверной доставки информации применяется квитирование, то есть передача подтверждений (квитанций) на пакеты данных, которые были успешно доставлены адресату [1]. Длительность ожидания этих подтверждений является важным параметром, значения которого характеризуют загруженность сети, а результаты их прогнозирования могут быть использованы для управления интенсивностью отправки данных и повторных передач [2–7].

Анализ литературы показал, что вопросам получения качественного прогноза этой величины уделяется мало внимания. Поэтому разработка системы, предназначенной для прогнозирования длительности ожидания подтверждений в телекоммуникационной сети, является актуальной научно-технической задачей.

Синтез системы

Успешно осуществлять экстраполяцию тех или иных случайных функций позволяет применение нейро-нечеткой системы, сочетающей в себе преимущества нечеткой логики и искусственной нейронной сети [8–13].

Синтезируемая нечеткая нейронная сеть предназначена для определения величины $\tilde{\tau}$ – прогнозируемой длительности ожидания подтверждения

на пакет, отправляемый источником данных. На вход разрабатываемой системы подаются величины τ_x , τ_y и τ_z , то есть значения длительности ожидания подтверждений на три предыдущих пакета, отправленных источником данных.

Исследования показали, что достаточную точность прогнозирования длительности ожидания подтверждения обеспечивает применение нечеткой нейронной сети со следующими параметрами: алгоритм нечеткого вывода – Сугено нулевого порядка [14], количество функций принадлежности для каждой входной величины – две, форма функций принадлежности для каждой входной величины – треугольная, алгоритм обучения нейронов – обратного распространения ошибки [15–16].

Функционирование синтезируемой системы основано на применении базы нечетких правил следующего вида:

Если $(\tau_x = X_1)u(\tau_y = Y_1)u(\tau_z = Z_1)$, то $(\tilde{\tau} = H_1)$,

Если $(\tau_x = X_1)u(\tau_y = Y_1)u(\tau_z = Z_2)$, то $(\tilde{\tau} = H_2)$,

Если $(\tau_x = X_1)u(\tau_y = Y_2)u(\tau_z = Z_1)$, то $(\tilde{\tau} = H_3)$,

Если $(\tau_x = X_1)u(\tau_y = Y_2)u(\tau_z = Z_2)$, то $(\tilde{\tau} = H_4)$,

Если $(\tau_x = X_2)u(\tau_y = Y_1)u(\tau_z = Z_1)$, то $(\tilde{\tau} = H_5)$,