

УДК 621.315.1/3.001.2

DOI: 10.24160/1993-6982-2017-3-67-72

Стойкость к растягивающему усилию оптических кабелей для широкополосного доступа

М.А. Боев, Зин Мин Латт

Представлены результаты испытаний на стойкость к растягивающему усилию современных конструкций внутриобъектовых оптических кабелей марок OBHCLS-HF, OBHPLS-HF, OBHBLS-HF, применяющихся для создания широкополосного доступа. Широкополосный доступ — это общее название технологии, с помощью которой обеспечивают постоянное подключение к интернету, телевидению и телефонной линии. Для его предоставления можно использовать большое количество различных носителей и способов передачи данных. В начале второй половины XX в. появились первые цифровые системы связи, предназначенные для быстрой дистанционной передачи цифровых потоков. Созданные для этой цели комплексные сети из кабелей связи позволили предоставить абонентам усовершенствованный телефонный сервис под названием DSL (цифровая абонентская связь по кабелю). Кабели изготавливают в соответствии с требованиями технических условий. Их конструкция включает оптическое волокно в буферном покрытии со свободной укладкой или от 2 до 288 оптических волокон в пучке микромодулей со свободной укладкой, силовой элемент в виде пучка арамидных нитей или силовых элементов в виде двух стеклопластиковых прутков, находящихся внутри наружной оболочки, и саму полимерную наружную оболочку. Кабели не горят и не содержат материалов, выделяющих коррозионно-активные продукты дыма- и газовой выделений при горении и тлении. Механические испытания проводили на установке растяжения и раздавливания типа РПК-ЕК2 при увеличении растягивающего усилия до 14 кН.

Приведены результаты измерения затухания сигнала в оптическом волокне с помощью оптического рефлектометра типа YOKOGAWA AQ7275 и построены графики зависимостей изменения затухания от растягивающего усилия для указанных кабелей. Анализ с помощью метода линейной регрессии полученных зависимостей показал линейный характер этих зависимостей. Определены коэффициенты регрессии и построены прямолинейные зависимости по полученным уравнениям регрессии.

Ключевые слова: широкополосный доступ, оптические кабель и волокно, измерение затухания, растягивающее усилие.

Для цитирования: Боев М.А., Зин Мин Латт. Стойкость к растягивающему усилию оптических кабелей для широкополосного доступа // Вестник МЭИ. 2017. № 3. С. 67—72. DOI: 10.24160/1993-6982-2017-3-67-72.

Tensile Force Resistance of Optical Broadband Access Cables

М.А. Boev, Zin Min Latt

The article presents the results obtained from tensile force resistance tests of the modern designs of OBHCLS-HF, OBHPLS-HF and OBHBLS-HF optical cables for intra-facility applications, which are used for arranging broadband access. The term «broadband access» is the general name of technology using which permanent connection to the Internet, television and telephone line is set up. A great variety of carriers and data transmission methods can be used for providing broadband access. At the beginning of the second half of the last century, the first digital communication systems intended for fast remote transmission of digital streams emerged. The integrated communication cable networks constructed for this purpose opened the possibility to offer enhanced telephone service called DSL (Digital Subscriber Line) for subscribers. The cables are manufactured in compliance with the requirements of technical specifications. The cable design includes an optical fiber with buffer coating, with free laying of either from 2 to 288 optical fibers in the bundle of micromodules with free laying, a strength member in the form of a bundle of aramid yarns, or force elements in the form of two fiberglass rods inside the outer sheath, and the outer polymeric sheath itself. The cables are fire retardant and do not contain any materials releasing corrosive products of smoke and gas emission during combustion and smoldering. The mechanical tests were carried out on the PPK-EK2 stretching and crushing installation with the tensile force increased up to 14 kN.

The results of signal attenuation measurements in the optical fiber carried out using the type YOKOGAWA AQ7275 optical reflectometer are presented, and the graphs of attenuation as a function of tensile force for these cables are plotted. An analysis of the obtained dependences performed out using the linear regression method has shown that these dependences are linear in natures. The regression coefficients have been determined, and straight linear dependences have been constructed from the obtained regression equations.

Key words: broadband access, optical cable, optical fiber, attenuation measurement, tensile force.

For citation: Boev M.A., Zin Min Latt. Tensile Force Resistance of Optical Broadband Access Cables. MPEI Vestnik. 2017; 3:67—72. (in Russian). DOI: 10.24160/1993-6982-2017-3-67-72.

Постоянный рост потребности общества в коммуникации приводит к расширению сети связи. В последнее десятилетие наиболее обсуждаемой проблемой среди специалистов является создание широкополосного доступа (ШПД). Этот термин был введен во времена распространения коммутируемого доступа в интернет по телефонной сети связи общего пользования, так называемая технология ADSL (англ. Asymmetric Digital Subscriber Line — асимметричная цифровая абонентская линия). Эта технология является асимметричной, поскольку скорость передачи данных от сети к пользователю («нисходящий» поток) значительно выше, чем скорость передачи данных от пользователя в сеть («восходящий» поток). Подобная асимметрия в сочетании с состоянием «постоянно установленного соединения», когда исключается необходимость каждый раз набирать телефонный номер и ждать установки соединения, сделало технологию ADSL идеальной для организации доступа в интернет и к другим локальным сетям. При организации таких соединений пользователи обычно получают гораздо больший объем информации, чем передают. Технология ADSL обеспечивает скорость «нисходящего» потока передачи данных в пределах от 1,5 до 8 Мбит/с [1]. Скорость «восходящего» потока передачи данных лежит в пределах от 640 кбит/с до 1,5 Мбит/с. Технология ADSL позволяет передавать данные со скоростью 1,54 Мбит/с на расстояние до 5,5 км по одной витой паре проводов с медными жилами. При передаче данных на расстояние не более 3,5 км по проводам с медными жилами диаметром 0,5 мм может быть достигнута скорость порядка 6...8 Мбит/с, при этом соединение устанавливается с помощью модема.

Сегодня для абонентов порой необходима более высокая скорость потока передачи данных, например 100 Мбит/с [2], тогда само понятие «высокая скорость» становится субъективным, поскольку зависит от потребностей пользователя. Обеспечить ее могут только беспроводные и оптические линии связи. Поэтому в последние годы технология ШПД, которая позволяет постоянное (не сеансовое) подключение абонента к интернету, телевидению и телефонной линии, базируется на линиях связи, выполненных оптическими кабелями (ОК), при этом скорость передачи данных лежит в диапазоне от 10 до 100 Мбит/с.

Благодаря распространению ОК как главного транспорта для перемещения информации оптические линии связи прочно занимают свои позиции и интенсивно развиваются. Для этого есть несколько предпосылок: ОК имеет очень малое затухание сигнала, большую полосу пропускания, высокую степень помехозащищенности (невосприимчивость к электромагнитным наводкам), малые вес и объем, длительный срок эксплуатации, гальваническую развязку оборудования и другие достоинства по сравнению с медным кабелем, кроме того, ОК с каждым днем становится дешевле.

Рассмотрены современные конструкции внутри-объектовых ОК производства ООО «Еврокабель 1» марок ОВНСLS-HF, ОВНPLS-HF, ОВНBLS-HF, которые используют провайдеры для организации связи внутри помещений. Кабели изготавливают в соответствии с требованиями технических условий.

Внутриобъектовые ОК марки ОВНСLS-HF (рис. 1, а) и марки ОВНPLS-HF (рис. 1, б) содержат оптическое волокно (ОВ) в буферном покрытии, силовой элемент в виде пучка арамидных нитей и наружную оболочку. Кабели не распространяют горение и не содержат материалов, выделяющих коррозионно-активные продукты дымо- и газовойделения при горении и тлении. Кабель марки ОВНСLS-HF содержит одно ОВ, а кабель марки ОВНPLS-HF может содержать от 2 до 24 ОВ. Допустимое растягивающее усилие кабеля марки ОВНСLS-HF составляет 0,3 кН, а кабеля марки ОВНPLS-HF — 1,0 кН.

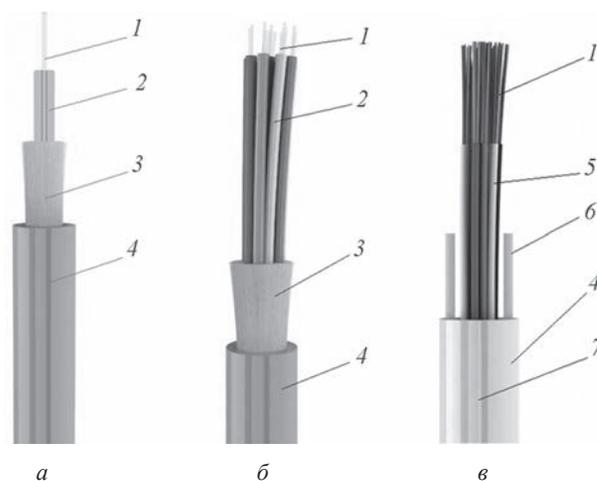


Рис. 1. Внутриобъектовые кабели марок ОВНСLS-HF (а), ОВНPLS-HF (б) и ОВНBLS-HF (в):

1 — оптическое волокно; 2 — буферное покрытие; 3 — арамидные нити; 4 — безгалогенная оболочка, не распространяющая горение; 5 — микромодули; 6 — стеклопластиковые прутки; 7 — риски (указание места для вскрытия оболочки кабеля)

В кабель оптический внутриобъектовый для вертикальной прокладки марки ОВНBLS-HF (рис.1, в), входит пучок от 2 до 24 ОВ в буферном покрытии со свободной укладкой или от 2 до 288 ОВ в пучке микромодулей. Микромодуль со свободной укладкой содержит от 2 до 12 ОВ с силовыми элементами в виде двух стеклопластиковых прутков, находящихся внутри наружной оболочки, из материала не распространяющего горение, с допустимым растягивающим усилием 0,5 кН; для определения места вскрытия кабеля на поверхности оболочки расположены продольные риски.

Кабели марок ОВНСLS-HF, ОВНPLS-HF, ОВНBLS-HF могут быть изготовлены с различным количеством оптических волокон и разной механической прочностью. Основные параметры приведены в табл. 1.

Некоторые эксплуатационные параметры кабелей марок ОВНСLS-НF, ОВНPLS-НF, ОВНBLS-НF представлены в табл. 2.

Наружный и внутренний диаметры оптического модуля, возможное количество ОВ в кабеле и механические параметры приведены в табл. 3. Значение указанных параметров обеспечено конструкцией кабелей.

Величина номинального наружного размера (диаметра) и расчетной массы кабелей конкретной конструкции приведены в конструкторской документации. В табл. 4 указан диапазон значений этих параметров. Строительная длина кабелей согласуется с заказчиком (потребителем). Минимальная строительная длина кабелей — 1000 м.

В настоящей работе кратковременную механическую прочность внутриобъектовых оптических кабе-

лей определяли путем испытания на растяжение и раздавливание. Объектом испытаний выбраны кабели марки ОВНСLS-НF-1A1(0,9)-0,2, ОВНPLS-НF-8A1(0,9)-1,0 и ОВНBLS-НF-8A(0,9)-0,5Д2. Испытание их на стойкость к растяжению проводили по ГОСТ Р МЭК 794—1 (метод E1) на строительной длине, при этом длина растягиваемого участка кабеля составляла 70 м. Кабель подвергали растяжению со скоростью около 100 мм/мин. Растяжение осуществляли путем приложения нагрузки ступенями, каждый раз увеличивая нагрузку на 100 Н, на специальной установке для испытаний на растяжение и раздавливание типа РПК-ЕК2 [3]. Образец кабеля закрепляли на стенде путем пропускания через систему роликов, часть из которых приведена на рис. 2. Образец крепился в специально сконструированных захватах, исключающих про-

Таблица 1

Основные параметры кабелей марок ОВНСLS-НF, ОВНPLS-НF, ОВНBLS-НF, предназначенных для ШПД

Марка кабеля	Количество ОВ в кабеле	Диаметр кабеля, мм	Вес кабеля, кг/км	Допустимый минимальный радиус изгиба, мм
ОВНСLS-НF	1	2,8	7,2	28
	1	1,8	3,5	18
ОВНPLS-НF	2	4,5	21	45
	4	5,1	25	51
	8	6,1	34	61
	12	6,8	42	68
ОВНBLS-НF	8(2×4)	6,5	40	65
	12(2×6)	6,5	41	65
	16(4×4)	6,5	42	65
	24(6×4)	8,5	58	85
	32(8×4)	8,5	60	85
	40(10×4)	8,5	62	85
	48(8×6)	10,5	78	105
	64(16×4)	10,5	83	105
	72(12×6)	10,5	83	105
	96(16×6)	13,5	135	135
	144(24×6)	13,5	143	135
	288(24×12)	14,5	163	145

Таблица 2

Эксплуатационные параметры кабелей марок ОВНСLS-НF, ОВНPLS-НF, ОВНBLS-НF

Параметр	Марка кабеля		
	ОВНСLS-НF	ОВНPLS-НF	ОВНBLS-НF
Рабочая температура, °С	-10...+50	-30...+50	-30...+50
Температура монтажа, °С	-10...+50	-10...+50	-10...+50
Температура транспортировки и хранения, °С	-50...+50	-60...+70	-50...+50
Минимальный радиус изгиба	Не менее 10 диаметров кабеля		
Срок службы	25 лет		
Минимальный радиус изгиба оптического волокна	Не менее 3 мм (в течение 10 мин)		

Наружный и внутренний диаметр оптического модуля кабелей для ШПД

Параметр	Марка кабеля		
	ОВНCLS-HF	ОВНPLS-HF	ОВНBLS-HF
Наружный/внутренний диаметры оптического модуля, мм	2,9/1,9	5,2/3,2	9,0/6,0
Количество ОВ в кабеле	1	От 2 до 24	От 2 до 24 с микромодулями от 8 до 288
Толщина стенки оптического модуля, мм	0,5	1,0	1,5
Допустимое раздавливающее усилие, кН/см	0,05	0,1 и 0,2	0,08 и 0,2
Допустимое растягивающее усилие, кН	0,2 и 0,3	0,2 и 0,3	0,2 и 0,3

Таблица 4

Диапазоны значений номинального наружного размера (диаметра) и расчетной массы кабелей

Количество ОВ в ОК	Номинальный наружный диаметр ОК, мм	Масса 1 км кабеля, кг
Кабели многомодульной конструкции		
2...288	6,5...15	40,0...170,0
Кабели с волокном в буферном покрытии		
1...8	2×3...2,5×5	8,0...17,0
1...24	2,9...10,5	3,0...90,0

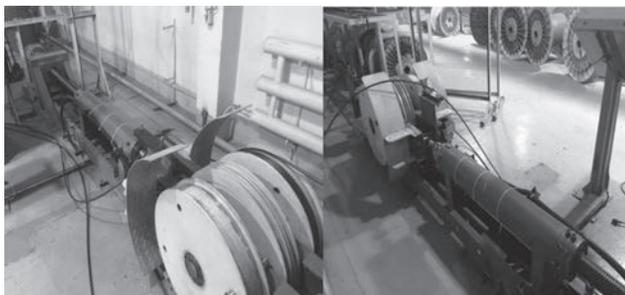


Рис. 2. Испытательная установка для растягивающей и раздавливающей нагрузок типа РРК-ЕК2

скальзывание и раздавливание закрепляемых концов оптического кабеля, а также обеспечивающих осесимметричное приложение растягивающей нагрузки к образцу.

На первой ступени приложения нагрузки при достижении 100 Н дальнейшее растяжение прекращали и после воздействия нагрузки в течение 3 мин измеряли затухание сигнала в ОВ с помощью рефлектометра на участке ОК, подвергнутом растяжению. Затем вновь продолжали растяжение, повышая нагрузку до 200 Н, и аналогичным образом измеряли затухания и т. д. При достижении нагрузки 1000 Н растяжение прекращали и последовательно снижали нагрузку также ступенями по 100 Н.

В данной работе использовали оптический рефлектометр типа YOKOGAWA AQ7275 (рис. 3) [4], который представляет собой универсальную модульную измерительную платформу последней разработки извест-



Рис. 3. Оптический рефлектометр типа YOKOGAWA AQ7275

ной японской компании Yokogawa (ранее известной как ANDO). Измерительная платформа рефлектометра типа YOKOGAWA AQ7275 пришла на смену платформе рефлектометра типа YOKOGAWA AQ7270 и включила в себя ряд небольших усовершенствований и доработок. На данный момент рефлектометры типа YOKOGAWA AQ7270 сняты с производства.

Кроме основного назначения, оптический рефлектометр типа YOKOGAWA AQ7275 является прибором, который может выполнять функции источника стабилизированного оптического излучения, оптического измерителя мощности и источника видимого излучения (визуализатора дефектов VFL). Все это входит в базовый комплект поставки платформы и не зависит от установленного оптического модуля (опции). С изменением опции меняются только длины волн и динамический диапазон. В данной работе измерения затухания сигнала в ОВ проводили на длине волны 1550 нм.

Длина образцов при механических испытаниях недостаточна для измерения затухания с помощью рефлектометра. Для увеличения оптической длины участка для измерения затухания сигнала и с целью одновременного контроля над всеми ОВ кабеля волокна кабеля последовательно сваривали в одну линию. После соединения волокон образовывался шлейф, который подключали через компенсационную катушку к рефлектометру. Для присоединения образцов ОК к тестеру также необходима сварка ОВ.

Были использованы автоматический аппарат для сварки ОВ типа Fujikura FSM 40S [5], общий вид которого приведен на рис. 4. Аппарат для сварки типа Fujikura FSM 40S снабжен системой LID для юстировки ОВ.



Рис. 4. Автоматический аппарат для сварки оптических волокон типа Fujikura FSM 40S

Система типа LID позволяет юстировать ОВ по их сердцевинам. В аппарате для сварки предусмотрен изгиб свариваемых волокон с малым радиусом, ввод в сердцевину одного из свариваемых волокон (через оболочку) оптического излучения и обнаружение это-

го излучения в сердцевине другого ОВ. Так происходит автоматическая юстировка оптических волокон для обеспечения минимального уровня потерь оптического сигнала в месте сварки. Вместе с тем в результате действия сил поверхностного натяжения в процессе сварки предварительно отъюстированные ОВ частично смещаются, что приводит к росту затухания в месте сварки.

Представлены результаты испытания на растяжение кабелей марок ОВHCLS-HF-1A1(0.9)-0,2, ОВHPLS-HF-8A1(0.9)-1,0 и ОВHBLs-HF-8A(0.9)-0,5Д2. Полученные результаты сведены в табл. 5—7, по которым построены графики зависимостей, приведенные на рис. 5—7.

Анализ полученных зависимостей изменения затухания α от растягивающего усилия (F_p) для кабелей марок ОВHCLS-HF-1A1(0.9)-0,2, ОВHPLS-HF-8A1(0.9)-1,0 и ОВHBLs-HF-8A(0.9)-0,5Д2 показал линейный характер этой зависимости. Метод линейной регрессии позволяет построить прямолинейную зависимость, максимально соответствующую ряду упорядоченных пар (α и F_p). Уравнение для прямой линии выглядит следующим образом

Таблица 5

Испытание на растяжение кабеля марки ОВHCLS-HF-1A1(0.9)-0,2

Растягивающее усилие F_p , кН	Затухание α , дБ/км	Удлинение Δl , %
0,00	0,185	0,00
0,05	0,186	0,30
0,10	0,187	0,40
0,15	0,188	0,50
0,25	0,188	0,55
0,30	0,189	0,60
0,40	0,189	0,70
0,45	0,191	0,80
0,50	0,191	0,90
0,60	0,193	1,00
0,65	0,194	1,10

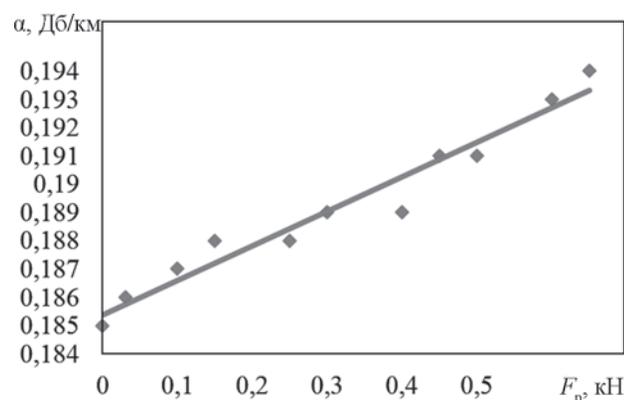


Рис. 5. Зависимость затухания α от растягивающего усилия F_p кабеля марки ОВHCLS-HF-1A1(0.9)-0,2:

◆ — исходная зависимость; — — аппроксимация

Таблица 6

Испытание на растяжение кабеля марки ОВHPLS-HF-8A1(0.9)-1,0

Растягивающее усилие F_p , кН	Затухание α , дБ/км	Удлинение Δl , %
0,00	0,184	0,00
0,05	0,185	0,20
0,10	0,186	0,40
0,12	0,188	0,50
0,18	0,187	0,60
0,23	0,189	0,65
0,30	0,192	0,70
0,36	0,194	0,75
0,40	0,195	0,80
0,45	0,198	0,90
0,50	0,200	1,00

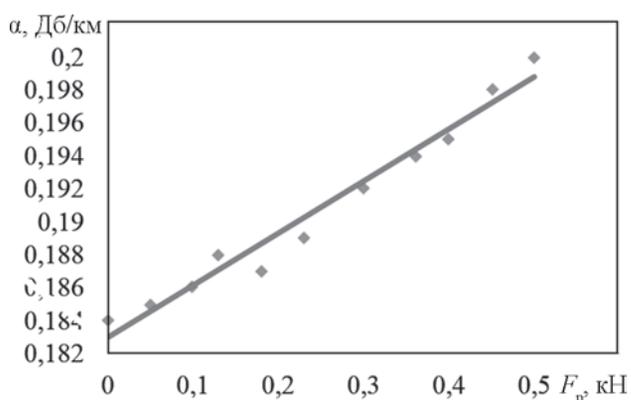


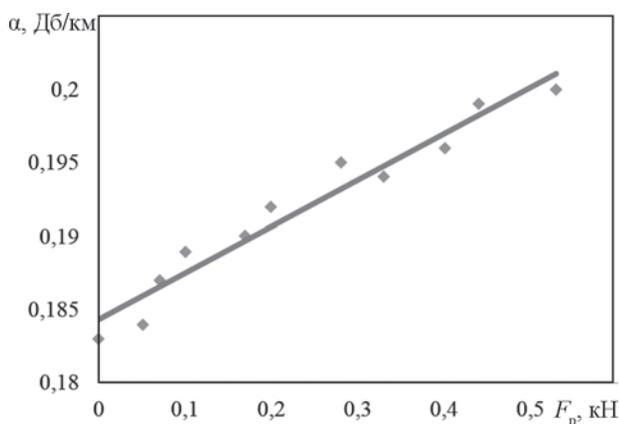
Рис. 6. Зависимость затухания α от растягивающего усилия F_p кабеля марки ОВHPLS-HF-8A1(0.9)-1,0:

обозначения те же, что на рис. 5

Таблица 7

Испытание на растяжение кабеля марки ОВНБLS-HF-8A(0,9)-0,5Д2

Растягивающее усилие F_p , кН	Затухание α , дБ/км	Удлинение Δl , %
0,00	0,183	0,00
0,05	0,184	0,60
0,07	0,187	0,70
0,10	0,189	0,75
0,17	0,190	0,80
0,20	0,192	0,85
0,28	0,195	0,90
0,33	0,194	1,00
0,40	0,196	1,10
0,44	0,199	1,30
0,53	0,200	1,40

Рис. 7. Зависимость затухания α от растягивающего усилия F_p кабеля марки ОВНБLS-HF-8A(0,9)-0,5Д2: обозначения те же, что на рис. 5

$$\alpha = a + bF_p,$$

где a , b — коэффициенты регрессии.

В табл. 8 приведены полученные уравнения регрессии для зависимостей изменения затухания от растягивающего усилия кабелей марок ОВНБLS-HF-1A1(0,9)-0,2, ОВНБLS-HF-8A1(0,9)-1,0 и ОВНБLSHF-8A(0,9)-0,5Д2.

Проведенные испытания позволили регламентировать требования к растягивающему усилию в ТУ 3587-003-58743450—2014 на изготовление кабелей исследованных марок.

Таблица 8

Уравнения регрессии зависимостей изменения затухания от растягивающего усилия для исследованных кабелей

Марка кабеля	Уравнение регрессии
ОВНБLS-HF-8A1(0,9)-1,0	$\alpha = 0,185 + 0,012F_p$
ОВНБLS-HF-1A1(0,9)-0,2	$\alpha = 0,183 + 0,032F_p$
ОВНБLSHF-8A(0,9)-0,5Д2	$\alpha = 0,184 + 0,031F_p$

Литература

1. **Технология** DSL [ADSL (Asymmetric Digital Subscriber Line — асимметричная цифровая абонентская линия)] [Официальный сайт]. URL: <http://www.xdsl.ru/articles/dsl.htm> (дата обращения 01.04.2017)
2. **Широкополосный** доступ в Интернет. URL: <http://3gclub.ict-online.ru/tags/broadband/> (дата обращения 03.04.2017)
3. **Боев М.А., Зин Мин Латт.** Современные конструкции внутриобъектовых оптических кабелей для широкополосного доступа // Кабели и провода. 2016. № 5 (360). С. 31—36.
4. **Оптический** рефлектометр Yokogawa AQ7275-735032. URL: <http://svarka-optiki.ru/> (дата обращения 14.03.2017)
5. **Боев М.А., Маунг Эй.** Кратковременная механическая прочность подвесных оптических кабелей // Кабели и провода. 2015. № 4 (353). С. 22—26.

References

1. **Tekhnologiya** DSL [ADSL (Asymmetric Digital Subscriber Line — Asimmetrichnaya Tsifrovaya Abonent'skaya Liniya)] [Ofits. Sayt]. URL: <http://www.xdsl.ru/articles/dsl.htm> (Data Obrashcheniya 01.04.2017). (in Russian).
2. **Shirokopolosnyy** Dostup v Internet. URL: <http://3gclub.ict-online.ru/tags/broadband/> (Data Obrashcheniya 03.04.2017). (in Russian).
3. **Boev M.A., Zin Min Latt.** Sovremennye Konstruktsii Vnutriob'ektovykh Opticheskikh Kabeley dlya Shirokopolosnogo Dostupa. Kabeli i Provoda. 2016;5 (360):31—36. (in Russian).
4. **Opticheskii** Reflektometr Yokogawa AQ7275-735032. URL: <http://svarka-optiki.ru/> (Data Obrashcheniya 14.03.2017). (in Russian).
5. **Boev M.A., Maung Ey.** Kratkovremennaya Mekhanicheskaya Prochnost' Podvesnykh Opticheskikh Kabeley. Kabeli i provoda. 2015;4 (353):22—26. (in Russian).

Сведения об авторах

Боев Михаил Андреевич — доктор технических наук, профессор кафедры физики и технологии электротехнических материалов и компонентов НИУ «МЭИ»
Зин Мин Латт — аспирант кафедры физики и технологии электротехнических материалов и компонентов НИУ «МЭИ», e-mail: zinminlatt13988@gmail.com

Information about authors

Boev Mikhail A. — Dr.Sci. (Techn.), professor of Physics and Technologies of Electrical Materials and Components Dept., NRU MPEI
Zin Min Latt — Ph.D.-student of Physics and Technologies of Electrical Materials and Components Dept., NRU MPEI, e-mail: zinminlatt13988@gmail.com

Статья поступила в редакцию 20.12.2016