

УДК 621.315.2.001.63

DOI: 10.24160/1993-6982-2018-1-41-46

Особенности определения механических параметров оптического кабеля, прокладываемого в земле

М.А. Боев, Ёе Чжо Мин

Представлена современная конструкция оптического кабеля связи марки ОГД, изготовленного в соответствии с требованиями технических условий и используемого провайдерами для прокладки в земле. Дано описание конструкции, приведены основные характеристики, указана преимущественная область применения.

Оптический кабель имеет наружную оболочку и сердечник, содержащий оптические волокна, которые представляют собой основу любого кабеля связи, поскольку передача сигналов идет именно по оптическому волокну, расположенному в сердечнике. В состав кабеля входит диэлектрический центральный силовой элемент, вокруг которого скручены оптические модули и кордели. Каждый оптический модуль содержит от 2 до 24 оптических волокон. Внутренняя и наружная оболочки кабеля выполнены из полиэтилена, поверх внутренней наложена броня из одного или двух повивов стальными оцинкованными проволоками или повив из диэлектрических стержней.

Рассмотрены две конструкции кабеля марки ОГД с броней из мягкой и твердой стальной оцинкованной проволоки. Усилие деформации с одинаковым удлинением кабеля с броней из твердой проволоки в два раза больше, чем кабеля с броней из проволоки мягкой, т. е. твердая проволока делает кабель почти в два раза прочнее, чем мягкая. Указано количество оптических волокон, размер и масса кабеля марки ОГД, стойкого к растягивающему усилию 20 кН, размеры проволоки брони твердой и мягкой. Проведены исследования механических свойств кабелей рассматриваемых конструкций. Испытание проводили на установке растяжения и раздавливания типа РРК-ЕК2. Представлены результаты измерения потери мощности сигнала в оптическом волокне в зависимости от величины растягивающего и раздавливающего усилий, воздействующих на кабель.

Ключевые слова: раздавливающее и растягивающее усилия, механические характеристики, потеря мощности, оптический кабель.

Для цитирования: Боев М.А., Ёе Чжо Мин. Особенности определения механических параметров оптического кабеля, прокладываемого в земле // Вестник МЭИ. 2018. № 1. С. 41—46. DOI: 10.24160/1993-6982-2018-1-41-46.

Specific Features of Determining the Mechanical Parameters of an Optical Cable Laid in the Ground

М.А. Боев, Ye Kyaw Min

The article presents the modern design of Type OGD optical communication cable manufactured in line with its technical specifications and used by service providers for laying in the ground. The cable design is described, its main characteristics are given, and the predominant field of its application is indicated.

The optical cable has an outer sheath and a core containing optical fibers which constitute the basis of any communication cable because it is exactly the optical fiber located in the core through which the signals are transmitted. The cable contains also a central dielectric strength member around which the optical modules and insulating cords are twisted. Each optical module contains from 2 to 24 optical fibers. The cable inner and outer sheaths are made of polyethylene. The inner sheath is superimposed with an armor made of one or two layers of galvanized steel wires or a layer of dielectric rods.

Two design versions of Type OGD cable with an armor made of soft and hard galvanized steel wire are considered. The deformation force causing the same elongation for a cable with the armor made of hard wire is a factor of two higher than it is for a cable with the armor made of soft wire, i. e. the hard-wire armor makes the cable almost two times stronger than that with the soft-wire armor. The number of optical fibers, the size and weight of Type OGD cable withstanding the tensile force equal to 20 kN, and the sizes of hard and soft armor wire are given. The mechanical properties of

cables of the considered designs were investigated. The test was carried out using the Type RRK-EK2 tensile and crushing installation. The results from measurements of signal power loss in an optical fiber depending on the value of tensile and crushing force acting on the cable are presented.

Key words: crushing and tensile forces, mechanical characteristics, power loss, optical cable.

For citation: Boev M.A., Ye Kyaw Min. Specific Features of Determining the Mechanical Parameters of an Optical Cable Laid in the Ground. MPEI Vestnik. 2018;1:41—46. (in Russian). DOI: 10.24160/1993-6982-2018-1-41-46.

В настоящее время самым современным и наиболее популярным видом среди кабелей связи является оптический кабель (ОК), который в зависимости от условий применения имеет различные модификации (кабели, прокладываемые в земле, на воздухе, внутри различных объектов и т.д.). Широкую известность ОК приобрели благодаря отличным характеристикам передачи сигналов и невероятно большой информационной емкости.

Оптический кабель имеет наружную оболочку и сердечник, представляющий собой основу любого кабеля связи, ведь передача сигналов идет по оптическому волокну (ОВ), расположенному в нем. В обязательном порядке сердечник защищают оболочкой порой в несколько слоев, что снижает физические воздействия и уменьшает риск повреждения ОВ. Кроме того, ОК, прокладываемый в земле, имеет броню, выполненную из стальных оцинкованных проволок, защищающих кабель от воздействия механических ударов, изгибов, растяжений и других негативных факторов внешней среды.

Бронированные ОК, прокладываемые в земле, могут лежать в различных грунтах, кроме подверженных сильному промерзанию. Их прокладывают по дну рек и болот, что возможно для кабелей с защитой от проникновения влаги. Также они рекомендованы к применению в тех местах, где существуют вероятности повреждения кабеля грызунами, возникновения механических воздействий и раздавливающих, растягивающих или срезающих усилий. Подобный кабель применяют и при необходимости обеспечения защиты от вандализма.

Прокладываемые в земле ОК имеют маркировку ОГД и изготавливаются по ТУ 3587-001-58743450-2005.

Конструктивные особенности кабеля типа ОГД

Конструкция ОК марки ОГД (рис. 1) состоит из центрального силового элемента, выполненного из стеклопластика, либо стального троса, изолированного слоем полиэтилена. Центральный силовой элемент обвивают оптические модули и кордели. Оптические модули содержат ОВ, кроме того на центральный силовой элемент может быть наложены водоблокирующие нити для продольной герметизации кабеля так называемой «сухой» конструкции.

Оптические модули содержат ОВ и внутреннее пространство в модуле заполнено гидрофобным наполнителем. Каждый модуль содержит от 2 до 24 ОВ. Сверху

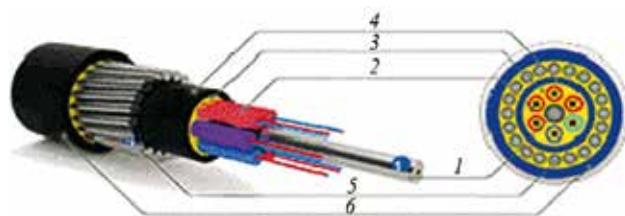


Рис. 1. Конструкция кабеля марки ОГД 6x8A-20:

1 — центральный силовой элемент из стеклопластика; 2 — оптический модуль с ОВ; 3 — гидрофобный наполнитель; 4, 6 — внутренняя и наружная оболочки; 5 — стальная оцинкованная проволока

оптические модули и кордели «сухой» конструкции кабеля покрыты водоблокирующей лентой, либо свободное пространство сердечника заполнено гидрофобным наполнителем. Полученный таким образом сердечник кабеля, состоящий из центрального силового элемента, оптических модулей и корделей, покрывают внутренней оболочкой из полиэтилена, на которую наложена броня в виде одного или двух повивов стальными оцинкованными проволоками или повив из диэлектрических стержней. Кабель имеет наружную оболочку, выполненную из полиэтилена, а если кабель маркирован ОГДН, то он имеет наружные оболочки, выполненные из материала, не распространяющего горение или в процессе горения не выделяющего галогены, и из полиэтилена [1 — 7].

Стойкость ОК к механическим воздействиям определяется в первую очередь стойкостью к растягивающему и раздавливающему усилиям. Кабели марки ОГД делают стойкими к растягивающему усилию величиной 7...80 кН. Предельное значение растягивающего усилия ОК устанавливают в результате механического расчета, который проводят, исходя из достижения предельного удлинения ОК 0,5 %, возникающего во время прокладки или эксплуатации ОК. Длина ОВ превышает физическую длину ОК за счет так называемой избыточной длины, составляющей около 0,5 %.

Пусть при растяжении ОК всю нагрузку принимают на себя силовые элементы, включающие модуль упругости и площадь поперечного сечения. Допустимое растягивающее усилие, действующее на кабель, можно определить по уравнению

$$F = E_{\text{каб}} S_{\text{каб}} \varepsilon_{\text{доп}}, \quad (1)$$

где F — максимально допустимое растягивающее усилие; $E_{\text{каб}}$ — модуль упругости; $S_{\text{каб}}$ — площадь поперечного сечения всех силовых элементов в ОК; $\varepsilon_{\text{доп}}$ — допустимое удлинение.

Модуль упругости ОК зависит от модуля упругости силовых элементов и их количества и может быть рассчитан, исходя из площади поперечного сечения и модуля упругости каждого отдельного силового элемента

$$E_{\text{каб}} = \frac{\sum_{i=1}^m E_i S_i}{S_{\text{каб}}}, \quad (2)$$

где m — количество силовых элементов; S_i — площадь поперечного сечения силового элемента; E_i — модуль упругости силового элемента.

Если задано допустимое значение растягивающего усилия, то, используя уравнения (1), (2), можно рассчитать необходимое количество силовых элементов. При этом следует учесть запас прочности (не менее 15 %) на случай динамического воздействия нагрузки.

Броня кабеля выполнена из стальной оцинкованной проволоки разной твердости, имеющей разные модули упругости. Проведенные в настоящей работе исследования показали, что усилие для деформации с одинаковым удлинением твердой проволоки в два раза больше, чем мягкой проволоки (рис. 2.), т.е. твердая проволока почти в два раза прочнее, чем проволока мягкая того же диаметра. Это позволяет делать кабель одинаковой прочности из твердой проволоки с меньшим количеством проволок.

По результатам испытаний рассчитан модуль упругости стальной проволоки:

$$E = \frac{F/S}{\Delta l/l} = \frac{Fl}{S\Delta l},$$

где S — площадь сечения проволоки; l — длина деформируемого участка проволоки; Δl — удлинение проволоки при растяжении в результате упругой деформации.

Полученные значения модуля упругости стальной проволоки приведены в табл. 1.

Таблица 1

Модуль упругости для мягкой проволоки диаметром 1,60 мм и твердой стальной проволоки диаметром 1,08 мм

Удлинение, %	Модуль упругости, ГПа	
	мягкая проволока	твердая проволока
0,025	2,25	4,59
0,050	2,12	4,31
0,100	2,01	4,16

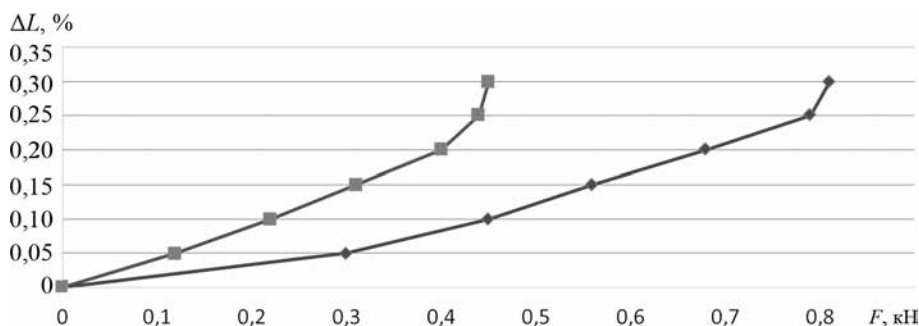


Рис. 2. Зависимость удлинения ΔL от необходимого усилия F для мягкой (—■—) и твердой (—◆—) проволоки диаметром 1,08 мм

Применение твердой проволоки для изготовления брони позволяет уменьшить наружный диаметр и массу ОК. Конечно, твердая проволока увеличивает упругую деформацию ОК, возрастает необходимый для изгиба радиус, но вместе с тем эти свойства ОК остаются в допустимых пределах.

В табл. 2 указано количество ОВ, размер и масса кабеля марки ОГД, стойкого к растягивающему усилию 20 кН, с броней из твердой стальной проволоки.

Таблица 2

Количество ОВ, размер и масса кабеля марки ОГД, стойкого к растягивающему усилию 20 кН, с броней из твердой проволоки

Количество волокон	Диаметр проволоки брони, мм	Диаметр кабеля, мм	Масса 1 км кабеля, кг
2...240	1,08	12,5	250
26...32	1,08	12,6	260
34...48	1,08	13,5	290
50...72	1,16	14,1	350
64	1,33	15,2	420
68...96	1,33	15,5	450
98...144	2,0	20,6	860
192...288	2,5	25,3	1300

Исследован ОК марки ОГД 6x8A-20, предназначенный для эксплуатации при температуре окружающей среды в диапазоне $-40...+50$ °С, выдерживающий статическое растягивающее усилие до 20 кН и раздавливающее усилие не менее чем 0,7 кН/см [8, 9].

В табл. 3 показаны количество и диаметр проволок, размер и расчетное значение максимально допустимого растягивающего усилия кабеля марки ОГД 6x8A-20 с броней из твердой и мягкой проволоки.

Испытания ОК марки ОГД 6x8A-20 на стойкость к растягивающему и раздавливающему усилиям проводили с помощью испытательного стенда с максимальным растягивающим усилием до 100 кН по методам Е1 и Е3 [10] на строительной длине ОК, предварительно изготовив шлейф из ОВ. На рис. 3 изображены фотографии испытательного стенда, а на рис. 4 дана схема

Таблица 3

Число и диаметр проволоки, размер и расчетное значение максимально допустимого растягивающего усилия кабеля марки ОГД 6х8А-20 с броней из твердой и мягкой проволоки

Броня	Диаметр проволоки, мм	Количество проволок	Диаметр кабеля, мм	Максимально допустимое растягивающее усилие, кН
твердая проволока	1,08	24	13,9	25,65
мягкая проволока	1,6	22	16,5	21,29



Рис. 3. Испытательный стенд для приложения растягивающего и раздавливающего усилий на ОК

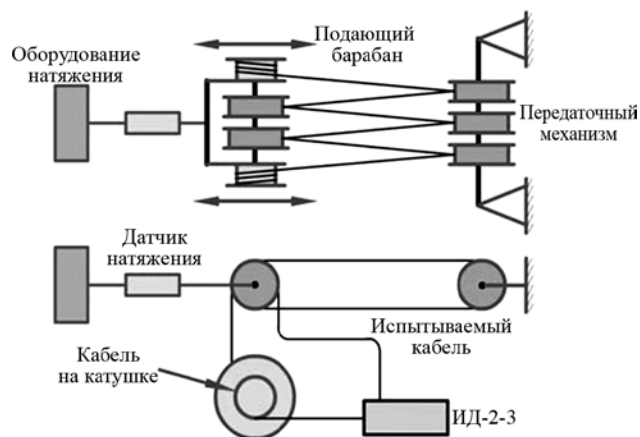


Рис. 4. Схема работы стенда при испытании ОК на стойкость к растягивающему и раздавливающему усилиям

его работы. Длина испытуемого участка ОК при растяжении составляла около 70 м, раздавливающее усилие создавали на площадке размером 100×100 мм, скорость растяжения равна 100 мм/мин. Растягивающее и раздавливающее усилия прикладывали ступенями. До

начала испытаний, при достижении усилия на каждой ступени и через 3 мин воздействия усилия контролировали отсутствие механических повреждений ОК и на длине волны 1550 нм измеряли прирост, либо коэффициент затухания сигнала [11 — 16]. Воздействие раздавливающего усилия учитывали последовательно на трех участках, расстояние между которыми составляло не менее 0,5 м.

На рис. 5, 6 показаны зависимости затухания сигналов в ОВ кабеля марки ОГД 6х8А-20 с броней из твердой и мягкой стальной проволоки от величины растягивающего и раздавливающего усилий, воздействующих на ОК.

На рис. 7 продемонстрированы зависимости, показывающие, как удлиняется кабель марки ОГД 6х8А-20 с броней из твердой и мягкой стальной проволоки с ростом растягивающего усилия.

Результаты проведенной работы подтвердили регламентированные в ТУ 3587-001-58743450-2005 параметры стойкости ОК марки ОГД 6х8А-20 к механическим воздействиям: растягивающему и раздавливающему усилию.

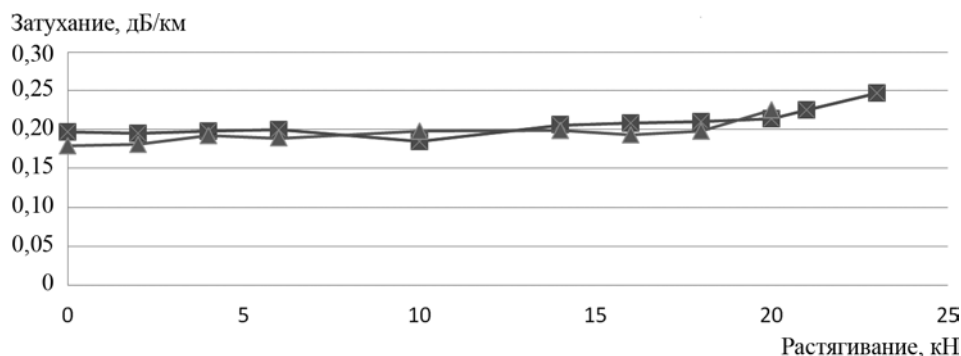


Рис. 5. Зависимость затухания от растягивающего усилия для кабеля марки ОГД 6х8А-20 с броней из твердой стальной проволоки диаметром 1,08 мм (■) и мягкой стальной проволоки диаметром 1,60 мм (▲)

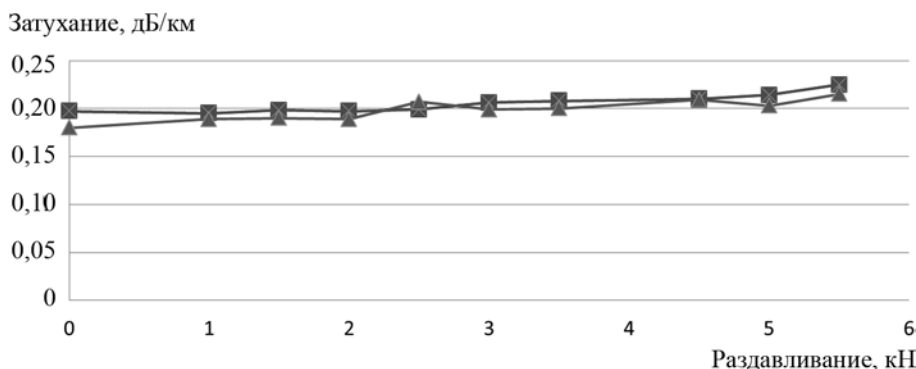


Рис. 6. Зависимость затухания от раздавливающего усилия для кабеля марки ОГД 6x8A-20 с броней из твердой стальной проволоки диаметром 1,08 мм (■) и мягкой стальной проволоки диаметром 1,60 мм (▲)

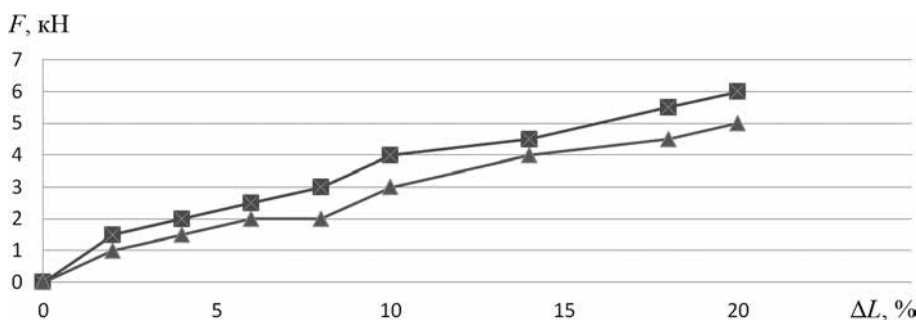


Рис. 7. Зависимость между растягивающим усилием F , приложенным кабелю марки ОГД 6x8A-20 с броней из твердой стальной проволоки диаметром 1,08 мм (■) и мягкой проволоки диаметром 1,60 мм (▲), и удлинением ΔL ОК

Литература

1. Боев М.А., Йе Чжо Мин. Климатические и механические параметры оптических кабелей, предназначенные для эксплуатации в земле в тропическом климате // Труды XXII Междунар. науч.-техн. конф. по радиоэлектронике, электротехнике и энергетике. М., 2016. Т. 2. С. 35.
2. Портнов Э.Л. Оптические кабели связи. М.: Информсвязь, 2000.
3. Портнов Э.Л. Оптические кабели связи: конструкции и характеристики. М.: Горячая линия – Телеком, 2002.
4. Иоргачев Д.В., Бондаренко О.В. Волоконно-оптические кабели и линии связи. М.: Эко-Трендз, 2002.
5. Воронцов А.С. и др. Оптические кабели связи российского производства. М.: Эко-Трендз, 2003.
6. Ларин Ю.Т. Оптические кабели. М.: Престиж, 2006.
7. Ларин Ю.Т. Специальные конструкции оптические кабелей // Технологии и средства связи. 2000. № 5. С. 10—16.
8. Боев М.А., Йе Чжо Мин. Механические параметры оптического кабеля, предназначенного для прокладки в земле // Электромеханика, электротехнологии, электротехнические материалы и компоненты: Труды 16 Междунар. конф. Алушта, 2016. С. 74—75.
9. Боев М.А., Маунг Эй. Кратковременная механическая прочность подвесных оптических кабелей // Кабели и провода. 2015. № 4 (353). С. 22—26.

10. ГОСТ Р МЭК 794-1—93. Кабели оптические. Общие технические требования.

11. Боев М.А., Аунг Хаинг У. Исследование влияния внешних факторов на оптические кабели, подводящие волокно в дом // Первая миля. 2012. № 1. С. 10—13.

12. Фриман Р. Волоконно-оптические системы связи. М.: Техносфера, 2003.

13. Динье Л. Структура, параметры и передаточные характеристики волоконных световодов // Труды института инженеров по электротехнике и радиоэлектронике. 1980. Т. 68. № 10. С. 8.

14. Портнов Э.Л. Оптические кабели связи и пассивные компоненты волоконно-оптических линий связи. М.: Горячая линия – Телеком, 2007.

15. Портнов Э.Л. Принципы построения первичных сетей и оптические кабельные линии связи. М.: Горячая линия – Телеком, 2009.

16. Листвин А.В., Листвин В.Н. Рефлектометрия оптических волокон. М.: ЛЕСАРПарт, 2005.

References

1. Boev M.A., Ye Chzho Min. Klimaticheskie i Mekhanicheskie Parametry Opticheskikh Kabeley, Prednaznachennye dlya Ekspluatatsii v Zemle v Tropicheskom Klimate. Trudy XXII Mezhdunar. Nauch.-tekhn. Konf. po Radioelektronike, Elektrotekhnike i Energetike. M., 2016;2:35. (in Russian).

2. **Portnov E.L.** Opticheskie Kabeli Svyazi. M.: Informsvyaz', 2000. (in Russian).
3. **Portnov E.L.** Opticheskie Kabeli Svyazi: Konstruktsii i Harakteristiki. M.: Goryachaya Liniya – Telekom, 2002. (in Russian).
4. **Iorgachev D.V., Bondarenko O.V.** Volokonno-opticheskie Kabeli i Linii Svyazi. M.: Eko-Trendz, 2002. (in Russian).
5. **Vorontsov A.S. i dr.** Opticheskie Kabeli Svyazi Rossiyskogo Proizvodstva. M.: Eko-Trendz, 2003. (in Russian).
6. **Larin Yu.T.** Opticheskie kabeli. M.: Prestizh, 2006. (in Russian).
7. **Larin Yu.T.** Spetsial'nye Konstruktsii Opticheskie Kabeley. Tekhnologii i Sredstva Svyazi. 2000;5:10—16. (in Russian).
8. **Boev M.A., Ye Chzho Min.** Mekhanicheskie Parametry Opticheskogo Kabelya, Prednaznachennogo dlya Prokladki v Zemle. Elektromekhanika, Elektrotekhnologii, Elektrotekhnicheskie Materialy i Komponenty: Trudy 16 Mezhdunar. Konf. Alushta, 2016:74—75. (in Russian).
9. **Boev M.A., Maung Ey.** Kratkovremennaya Mekhanicheskaya Prochnost' Podvesnyh Opticheskikh Kabeley. Kabeli i Provoda. 2015;4(353):22—26. (in Russian).
10. **GOST R MEK 794-1—93.** Kabeli Opticheskie. Obshchie Tekhnicheskie Trebovaniya. (in Russian).
11. **Boev M.A., Aung Haing U.** Issledovanie Vliyaniya Vneshnih Faktorov na Opticheskie Kabeli, Podvodyashchie Volokno v Dom. Pervaya Milya. 2012;1:10—13. (in Russian).
12. **Friman R.** Volokonno-opticheskie Sistemy Svyazi. M.: Tekhnosfera, 2003. (in Russian).

13. **Din'e L.** Struktura, Parametry i Peredatochnye Harakteristiki Volokonnyh Svetovodov. Trudy Instituta Inzhenerov po Elektrotekhnike i Radioelektronike. 1980;68;10:8. (in Russian).

14. **Portnov E.L.** Opticheskie Kabeli Svyazi i Passivnye Komponenty Volokonno-opticheskikh Liniy Svyazi. M.: Goryachaya Liniya – Telekom, 2007. (in Russian).

15. **Portnov E.L.** Printsipy Postroeniya Pervichnyh Setey i Opticheskie Kabel'nye Linii Svyazi. M.: Goryachaya Liniya – Telekom, 2009. (in Russian).

16. **Listvin A.V., Listvin V.N.** Reflektometriya Opticheskikh Volokon. M.: LESARart, 2005. (in Russian).

Сведения об авторах

Боев Михаил Андреевич — доктор технических наук, профессор кафедры физики и технологии электротехнических материалов и компонентов НИУ «МЭИ», член-корреспондент Академии электротехнических наук РФ, лауреат премии Правительства РФ

Йе Чжо Мин — аспирант кафедры физики и технологии электротехнических материалов и компонентов НИУ «МЭИ», e-mail: Yekyawmin51@gmail.com

Information about authors

Boev Mikhail A. — Dr.Sci. (Techn.), Professor of Physics and Technologies of Electrical Materials and Components Dept., NRU MPEI, Corresponding Member of Academy of Electrotechnical Sciences of the Russian Federation, Laureate of RF Government Prize

Ye Kyaw Min — Ph.D.-student of Physics and Technologies of Electrical Materials and Components Dept., NRU MPEI, e-mail: Yekyawmin51@gmail.com

Статья поступила в редакцию 19.04.2017