

АНАЛИЗ И КЛАССИФИКАЦИЯ ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКИХ ЛИНИЙ СВЯЗИ ПО УСЛОВИЯМ ПРИМЕНЕНИЯ

К.А. Муравьев

muravyov@bmstu.ru

О.А. Заплатин

oleg.zaplatin2015@yandex.ru

С.Ф. Тошмаматов

toshmamatovsukhrob@gmail.com

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Российская Федерация

Аннотация

Изложены теоретические основы функционирования волоконно-оптических линий связи. Рассмотрена физика явлений, происходящих в оптическом волокне и позволяющих организовать передачу информации. Описаны типы одномодовых и многомодовых оптических волокон в соответствии с их конструктивными особенностями. Представлены стандарты, описывающие применение оптических линий и базовые топологии оптических сетей. Рассмотрены характеристики семейства технологии пассивных оптических сетей PON. Представлены методики сравнения надежностей оптоволоконных кабелей, такие как испытание оптоволоконного кабеля на воздействие высокоскоростной размотки и испытание оптоволоконного кабеля на стойкость к радиальному сжатию. Проанализирована структура типового волоконно-оптического кабеля. Предложена классификация волоконно-оптических линий связи по условиям применения. Выполнен сравнительный анализ воздушных, подземных и подводных кабелей.

Ключевые слова

Оптическое волокно, одномодовое волокно, многомодовое волокно, сигнал, волоконно-оптическая линия связи, передача информации, стандарты волоконно-оптической линии связи, технология пассивных оптических сетей, структура оптоволоконного кабеля, надежность волоконно-оптического кабеля

Поступила в редакцию 26.05.2023

© МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2023

Введение. В современном мире оперативная передача данных имеет принципиальное значение. Этим обусловлено быстрое развитие волоконно-оптических линий связи (ВОЛС) в различных областях техники — от телефонии до компьютеров и систем автоматизации [1]. Строительство ВОЛС является стратегическим направлением развития инфраструктуры связи. С развитием сетей пятого поколения и «умных городов» ВОЛС будут играть ключевую роль в обеспечении высокоскоростного интернета и стабильного сигнала для пользователей.

Цель данной работы — анализ волоконно-оптических кабелей по условиям применения, результатами которого могут руководствоваться провайдеры при проектировании ВОЛС.

Важнейшей задачей, стоящей перед провайдерами, является выбор прокладываемого кабеля и архитектуры оптической сети. Линия связи должна обладать определенными параметрами, зависящими от поставленной задачи [2]. Характеристики оптического волокна (ОВ) определяются его структурой [3–5].

Классификация волоконно-оптических кабелей определяет критерии их отбора и позволяет вести поиск более структурировано и детально. Проводя анализ будущей ВОЛС, провайдер учитывает различные характеристики ОВ и способы укладки кабеля. По результатам такого анализа принимается решение по реализации конкретной архитектуры ВОЛС. Материалы статьи будут полезны при реализации ВОЛС различного назначения.

Основные положения теории передачи сигнала по волоконно-оптическому кабелю. Структура ВОЛС показана на рис. 1.

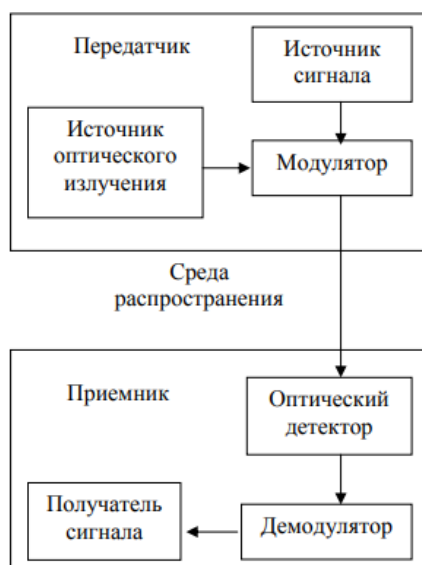


Рис. 1. Структурная схема ВОЛС [2]

Простейшее ОВ представляет собой круглый диэлектрический стержень, показатель преломления n_1 которого выше, чем у окружающей среды n_0 (рис. 2) [6, 7].

В зависимости от оптических и геометрических параметров кабеля по нему может распространяться от единиц до десятков тысяч мод [7]. На отдельных длинах волн (0,95, 1,25 и 1,39 мкм) возникают всплески затухания, которые обусловлены резонансными явлениями в гидроксильных группах ОН. На длине волны более 1,6 мкм затухание возрастает за счет потерь на поглощение в инфракрасной области спектра (ИК). Между пиками затухания находятся три области с минимальными оптическими потерями, которые получили название окон прозрачности (рис. 3). Эти окна прозрачности используются в технологиях одномодовых и многомодовых волокон (рис. 4).

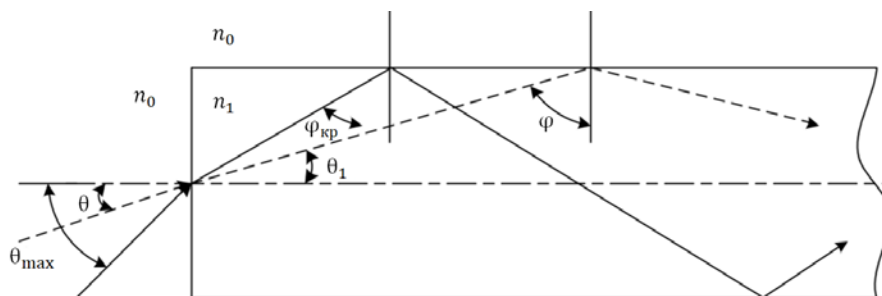


Рис. 2. Изменение поля плоской волны во времени [7]:

θ — угол падения светового луча на границу сред «воздух — диэлектрик»; θ_1 — угол преломления светового луча при его переходе из воздуха в диэлектрик ($\theta_1 < \theta$); φ — угол падения светового луча на границу сред «диэлектрик — воздух» ($\varphi \geq \varphi_{кр}$); θ_{max} — максимально допустимый угол падения светового луча на границу сред «воздух — диэлектрик»; $\varphi_{кр}$ — критический угол падения светового луча на границу сред «диэлектрик — воздух»

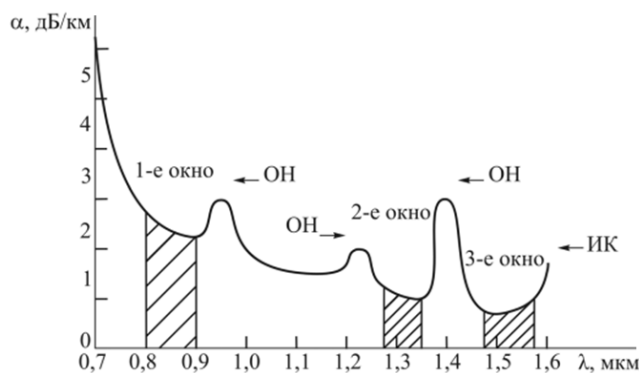


Рис. 3. Зависимость затухания от длины волны [8]

Вид профиля показателя преломления зависит от внутренней структуры оптического волокна.

Стандарты, описывающие применение оптических волокон. Общепринятым правилом при классификации оптоволокон являются рекомендации ИТУ-Т, указанные в табл. 1.

Таблица 1

Описание стандартов ИТУ-Т G.650.1-G.657

Номер стандарта ИТУ-Т	Ссылка на источник	Описание стандарта
ITU-T G.650.1, G.650.2	[9], [10]	Определения и методы тестирования линейных детерминированных атрибутов одномодовых волокон и кабелей
ITU-TG.651.1	[11]	Характеристики многомодового волоконно-оптического кабеля с градиентным индексом преломления 50/125 мкм

Окончание табл. 1

Номер стандарта ITU-T	Ссылка на источник	Описание стандарта
ITU-T G.652	[12]	Характеристики одномодового оптического волокна и кабеля 9/125 мкм
ITU-T G.653	[13]	Характеристики одномодового оптического волокна и кабеля со смещенной дисперсией
ITU-T G.654	[14]	Характеристики одномодового оптического волокна и кабеля со смещенной отсечкой
ITU-T G.655	[15]	Характеристики одномодового оптического волокна и кабеля с ненулевой смещенной дисперсией
ITU-T G.656	[16]	Характеристики волокна и кабеля с ненулевой дисперсией для широкополосной оптической передачи
ITU-T G.657	[17]	Характеристики одномодового оптического волокна и кабеля, нечувствительного к потерям на изгибе, для сети доступа

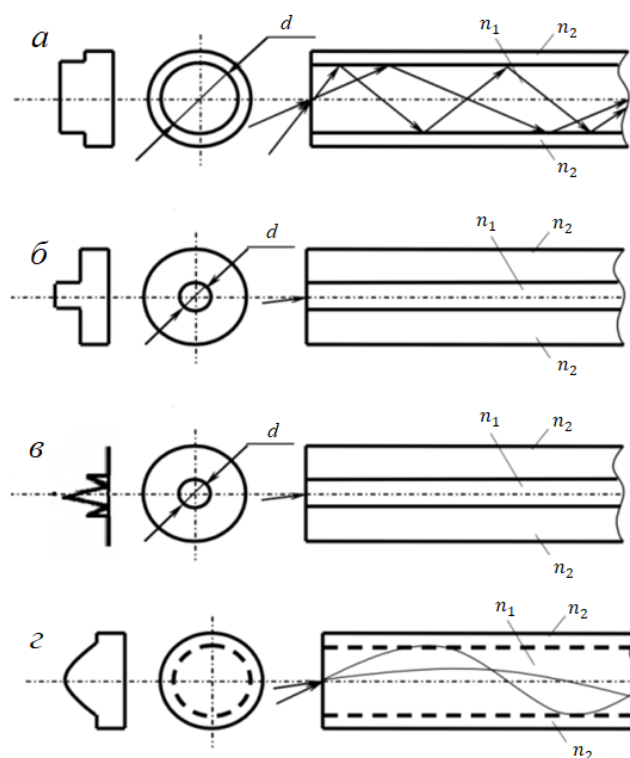


Рис. 4. Типы оптических волокон [2]:

a — ступенчатое многомодовое оптоволокно; *б* — ступенчатое одномодовое оптоволокно SF; *в* — одномодовое оптоволокно со смещенной дисперсией DSF/NZDSF; *г* — градиентное многомодовое оптоволокно MMF; d — диаметр сердечника волоконно-оптического кабеля (ВОК); n_1 — показатель преломления сердечника ВОК; n_2 — показатель преломления защитного покрытия ВОК

Каталоги ОВ позволяют проектировщикам ВОЛС ориентироваться в типе и параметрах волокна, на которые производители ссылаются чаще всего по названию стандарта.

Архитектура оптических линий PON. Наряду с традиционными решениями на основе оптических модемов, оптического Ethernet, технологии Microsdhc появились новые решения с использованием архитектуры пассивных оптических сетей PON (Passive Optical Network) (табл. 2). PON реализует архитектуру оптического доступа, которая облегчает широкополосные коммуникации (голос, данные и видео) между оптическим терминалом OLT (Optical Line Terminal) и различными удаленными оптическими сетевыми устройствами ONU (Optical Network Units) в пределах пассивной оптической сети.

Таблица 2

Базовые топологии оптических сетей

Наименование	Схема	Преимущества
Точка-точка	<p>Центральный узел</p> <p>Абонентские узлы</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Простота подключения новых узлов и администрирования • Обрыв кабеля не влияет на остальную сеть
Кольцо	<p>Центральный узел</p> <p>Абонентские узлы</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Наименьшее количество оптических волокон • Практически полное отсутствие дополнительного оборудования
Дерево с активными узлами	<p>Центральный узел</p> <p>Абонентские узлы</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Простота управления • Типовая технология — Ethernet 10/100/1000
Дерево с пассивным ответом	<p>Центральный узел</p> <p>Разветвитель</p> <p>Абонентские узлы</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Сокращение суммарной протяженности оптических волокон, а также числа оптических передатчиков и приемников в центральном узле • Типовая технология — PON

PON — это семейство быстроразвивающихся и наиболее перспективных технологий широкополосного мультисервисного множественного доступа по оптоволокну [18].

К преимуществам архитектуры PON относятся:

- экономия оптоволокну;
- отсутствие промежуточных активных узлов;
- экономия оптических приемопередатчиков в центральном узле;
- легкость подключения новых абонентов;
- удобство обслуживания.

Стандартизацией технологии PON занимались две независимые рабочие группы — ITU-T и IEEE, а позднее к ним присоединилась третья — CCSA (Certified in Control Self-Assessment) [19]. Поскольку каждая из групп стандартизировала свой протокол связи, оборудование было несовместимо между собой. Стандарты и характеристики технологий PON приведены в табл. 3.

Таблица 3

Характеристики технологий PON

Показатель	Технология			
	APON/BPON	EPON	GPON	GEAPON
Стандарт	ITU-T G.981.x	IEEE 802.3ah	ITU-T G.984.x	IEEE 802.1ah
Дата принятия	1998	2004	2003–2008	2004
Скорость передачи (вниз/вверх), Мбит/с: А — для APON, В — для BPON	155/155 (А) 622/155 (В) 622/622 (В)	1000/1000	1244/155, 622, 1244, 2488/622, 1244, 2488	1250/1250
Базовый протокол	ATM	Ethernet	GFP	Ethernet
Максимальный радиус сети, км	20	20 (≥30)	20	20
Длина волны прямого/ обратного потоков, нм	1550/1310	1550/1310	1550/1310	1550/1310
Максимальное число узлов на одно волокно	32	16	128	64

Выбор технологии PON зависит от конкретных требований и условий организации сети. У каждой из них есть свои плюсы и минусы, от которых зависит будущий бюджет проекта.

Методики расчета надежности волоконно-оптических кабелей. Сравнить кабели можно, соизмерив их надежности. Рассмотрим две методики сравнения надежности волоконно-оптического кабеля: испытание ВОК на воздействие

высокоскоростной размотки и испытание ВОК на стойкость к радиальному сжатию.

Испытание ВОК на воздействие высокоскоростной размотки проводят на образце ВОК длиной не менее 500 м, намотанном на специальную катушку. Для проведения испытаний используется следующее оборудование и оснастка:

- прибор для измерения затухания,
- установка для высокоскоростной размотки ВОК.

Схема установки для высокоскоростной размотки оптоволоконного кабеля приведена на рис. 5.

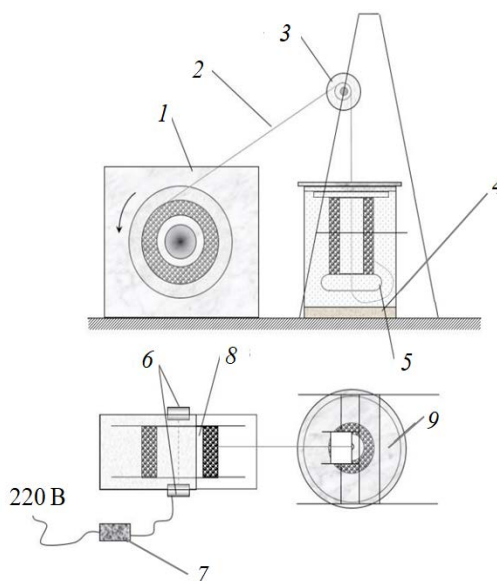


Рис. 5. Схема установки для высокоскоростной размотки ВОК [20]:

1 — защитный корпус намоточной катушки; 2 — оптический кабель; 3 — направляющий ролик; 4 — фундамент корпуса; 5 — катушка безынерционная; 6 — электродвигатели; 7 — блок управления двигателями; 8 — катушка намоточная; 9 — корпус

В процессе размотки ВОК проводится контроль затухания в ОВ, размещенных в испытываемом кабеле. ВОК считается выдержавшим испытание, если коэффициент затухания в ОВ, размещенных в нем, на рабочей длине волны соответствует значению, установленному в нормативной документации (НД) на конкретный кабель. Следует отметить, что, если ВОК должен эксплуатироваться в водной среде, то испытания также должны проводиться в водной среде.

Испытание ВОК на стойкость к радиальному сжатию проводят на разрывной машине в режиме «растяжение». ВОК подвергают обжатию одним витком ленты из арамидной ткани. Значение усилия натяжения ленты рассчитывается по формуле

$$F = \pi P D b,$$

где F — сила натяжения ленты, Н; P — давление радиального сжатия, установленное в НД на конкретный кабель, МПа; D — диаметр ВОК, мм; b — ширина нагрузочной ленты, мм.

Схема установки приведена на рис. 6.

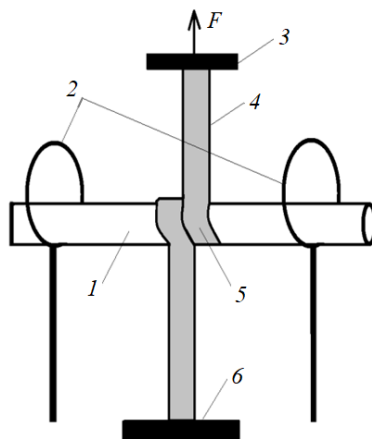


Рис. 6. Схема установки для испытания ВОК на воздействие радиального сжатия [20]:

1 — образец оптического кабеля; 2 — поддерживающие опоры; 3 — подвижный зажим разрывной машины; 4 — лента нагрузочная из арамидной ткани; 5 — виток нагрузочной ленты вокруг кабеля; 6 — неподвижный зажим разрывной машины

Продолжительность воздействия максимальной силы натяжения F должна составлять не менее 1 мин. Изменение затухания в ОВ, размещенных в ВОК, контролируют до, во время и после воздействия. ВОК считают выдержавшим испытание, если отсутствуют видимые невооруженным глазом повреждения ВОК и прирост затухания в каждом из контролируемых ОВ кабеля не превышает значение, установленное в НД для конкретного вида испытаний.

Структура волоконно-оптического кабеля. Волоконно-оптический кабель должен иметь соответствующее строение для предохранения оптических волокон от неблагоприятных условий внешней среды при его установке и в процессе эксплуатации [21]. Базовая структура ВОК показана на рис. 7.

Главными структурными компонентами, использующимися в кабелях, являются:

- центральный компонент;
- компоненты усиления;
- волоконный футляр;
- водоотталкивающий компонент;
- внешняя оболочка кабеля (кожух);
- защитная броня.

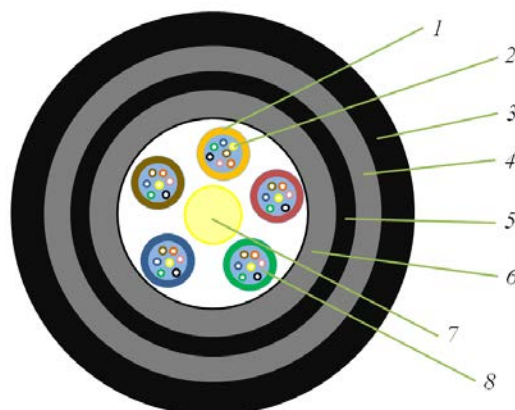


Рис. 7. Базовая структура кабеля:

1 — свободная буферная трубка; 2 — покрытые волокна;
3 — внешний кожух; 4 — ленточная стальная броня; 5 —
внутренний кожух; 6 — компонент усиления прочности;
7 — центральный компонент; 8 — водоотталкивающий
гель, окружающий волокна

Результаты. На рис. 8 предложена классификация типов оптических кабелей по следующим критериям:

- по условиям применения;
- по назначению;
- по типу оптических волокон;
- по материалу изготовления сердцевины.

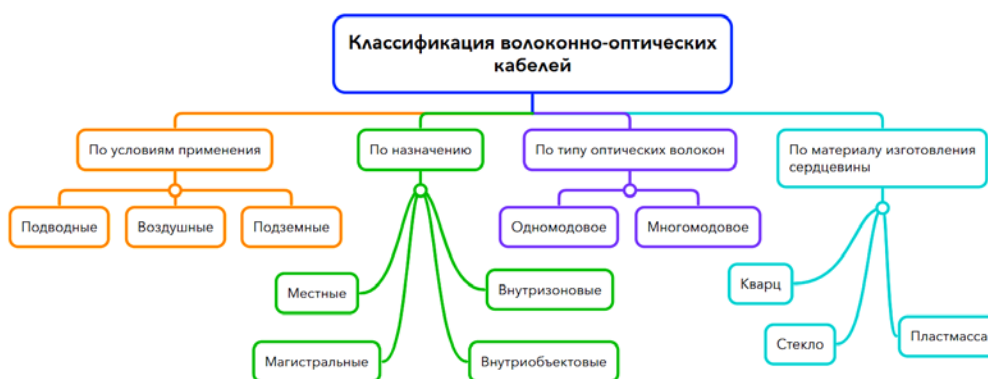



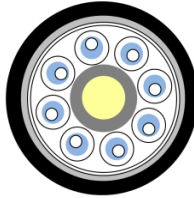
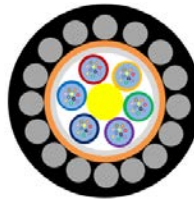
Рис. 8. Классификация волоконно-оптических кабелей

В соответствии с вышеуказанной классификацией в табл. 4 приведена сравнительная характеристика волоконно-оптических кабелей, сгруппированных по условиям применения. Методика выбора оптоволоконного кабеля для кон-

кретной задачи подразумевает одновременное сравнение кабелей по различным характеристикам, таким как стандарт, описывающий применение ВОК, степень надежности кабеля и его структура.

Таблица 4

Сравнительная характеристика волоконно-оптических кабелей, сгруппированных по условиям применения

Вид ВОК	Преимущества	Недостатки	Структура кабеля
Воздушный	<ul style="list-style-type: none"> • Незаменим в труднодоступной местности • Удобен при временной установке 	<ul style="list-style-type: none"> • Находится под сильным природным воздействием • Подвержен вандализму • При его разрушении возникает опасность для жизни человека и объектов инфраструктуры 	
Подземный	<ul style="list-style-type: none"> • Является экономичным • Защищен от влияния окружающей среды • Безопасен для жизни человека 	<ul style="list-style-type: none"> • Возможно разрушение при сельскохозяйственных работах • Есть риск повреждения грызунами 	
Подводный	<ul style="list-style-type: none"> • Способен обеспечивать связь между континентами 	<ul style="list-style-type: none"> • Высокая стоимость • Трудоемкий процесс укладки 	

Полученные результаты можно использовать для выбора ВОК при монтаже волоконно-оптических линий связи.

Заключение. В данной статье рассмотрены фундаментальные принципы теории передачи сигнала по оптоволокну, стандарты оптических волокон, их структура и методики сравнения надежностей оптоволоконных кабелей. На основе проведенного анализа волоконно-оптических кабелей предложена классификация по условиям применения, которая позволяет обосновать выбор провайдером оптоволоконного кабеля для конкретных применений.

Литература

- [1] Гуртов В.А. *Оптоэлектроника и волоконная оптика*. Петрозаводск, ПетрГУ, 2005, 100 с.
- [2] Воронов А.В., Матвеев А.В., Минченко И.С. *Каналы связи в системах телекоммуникаций*. Санкт-Петербург, СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2001, 48 с.
- [3] Муравьев К.А., Хамидуллин А.Р. Исследование формы сигнала и влияния длины коаксиального кабеля на ширину полосы пропускания. *Технологии инженерных и информационных систем*, 2022, № 1, с. 12–20.
- [4] Дмитриев В.Е., Попов Д.В. Анализ методов двухлучевой передачи сигнала по оптоволоконному кабелю. *Технологии инженерных информационных систем*, 2018, № 2, с. 36–47.
- [5] Апаков М.Э., Айгужин В., Муравьев К.А., Панфилкин А.М., Цивинская Т.А. Исследование качества передаваемого сигнала по различным линиям связи с использованием лабораторного стенда комплекта «Телекоммуникационные линии связи». *Технологии инженерных и информационных систем*, 2020, № 4, с. 43–55.
- [6] Верник С.М., Гитин В.Я., Иванов В.С. *Оптические кабели связи*. Москва, Радио и связь, 1988, 144 с.
- [7] Гречишников В.М. *Схемотехника волоконно-оптических устройств*. Самара, Самарский ун-т, 2018, 172 с.
- [8] Шумкова Д.Б., Левченко А.Е. *Специальные волоконные световоды*. Пермь, ПНИПУ, 2011, 178 с.
- [9] ITU-T. URL: <https://www.itu.int/rec/T-REC-G.650.1-202010-I/> (accessed May 24, 2023).
- [10] ITU-T. URL: <https://www.itu.int/rec/T-REC-G.650.2-201508-I/> (accessed May 24, 2023).
- [11] ITU-T. URL: <https://www.itu.int/rec/T-REC-G.651.1-201811-I/> (accessed May 24, 2023).
- [12] ITU-T. URL: <https://www.itu.int/rec/T-REC-G.652-201611-I/> (accessed May 24, 2023).
- [13] ITU-T. URL: <https://www.itu.int/rec/T-REC-G.653-201007-I/> (accessed May 24, 2023).
- [14] ITU-T. URL: <https://www.itu.int/rec/T-REC-G.654-202003-I/> (accessed May 24, 2023).
- [15] ITU-T. URL: <https://www.itu.int/rec/T-REC-G.655-200911-I/> (accessed May 24, 2023).
- [16] ITU-T. URL: <https://www.itu.int/rec/T-REC-G.656-201007-I/> (accessed May 24, 2023).
- [17] ITU-T. URL: <https://www.itu.int/rec/T-REC-G.657-201611-I/> (accessed May 24, 2023).
- [18] Гуламов А.А., Молчанова Т.В. *Топология и технология оптической сети проводного доступа*. Курск, ЮЗГУ, 2018, 19 с.
- [19] Зингеренко Ю.А. *Пассивные оптические сети Хрон*. Санкт-Петербург, Университет ИТМО, 2020, 115 с.
- [20] Овчинникова И.А. *Исследования и разработка оптических кабелей специального назначения*. Дис. ... д-ра техн. наук. Москва, 2021, 276 с.
- [21] Бейли Д., Райт Э. *Волоконная оптика: теория и практика*. Москва, КУДИЦ-ОБРАЗ, 2006, 320 с.

Муравьев Константин Александрович — старший преподаватель кафедры «Проектирование и технология производства электронной аппаратуры», МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Российская Федерация.

Заплатин Олег Александрович — бакалавр кафедры «Проектирование и технология производства электронной аппаратуры», МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Российская Федерация.

Тошмаматов Сухроб Фуркат Угли — бакалавр кафедры «Проектирование и технология производства электронной аппаратуры», МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Российская Федерация.

Ссылку на эту статью просим оформлять следующим образом:

Муравьев К.А., Заплатин О.А., Тошмаматов С.Ф. Анализ и классификация волоконно-оптических линий связи по условиям применения. *Политехнический молодежный журнал*, 2023, № 06 (83). <http://dx.doi.org/10.18698/2541-8009-2023-6-913>

ANALYSIS AND CLASSIFICATION OF THE FIBER-OPTIC COMMUNICATION LINES ACCORDING TO THEIR APPLICATION CONDITIONS

K.A. Muravyov

O.A. Zaplatin

S.F. Toshmamatov

muravyov@bmstu.ru

oleg.zaplatin2015@yandex.ru

toshmamatovsukhrob@gmail.com

Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russian Federation

Abstract

The paper presents theoretical foundations of the fiber-optic communication lines functioning. It considers physics of the phenomena in the optical fiber making it possible to organize transmission of the information. Types of the single-mode and multi-mode optical fibers are described in accordance with their design features. Standards are presented identifying the optical lines application and the optical network basic topologies. Characteristics of the PON family technology of passive optical networks are considered. Techniques for comparing reliability of the fiber-optic cables are presented, including fiber optic cable testing for high-speed unwinding and its testing for resistance to radial compression. Structure of the typical fiber-optic cable is analyzed. Classification of the fiber-optic communication lines according to conditions of their application is proposed. Aerial, underground and underwater cables are comparatively analyzed.

Keywords

Optical fiber, single-mode fiber, multi-mode fiber, signal, fiber-optic communication line, information transmission, fiber-optic communication line standards, passive optical network technology, fiber-optic cable structure, fiber-optic cable reliability

Received 26.05.2023

© Bauman Moscow State Technical University, 2023

References

- [1] Gurtov V.A. *Optoelektronika i volokonnaya optika* [Optoelectronics and fiber optics]. Petrozavodsk, PetrGU Publ., 2005, 100 p. (In Russ.).
- [2] Voronov A.V., Matveev A.V., Minchenko I.S. *Kanaly svyazi v sistemakh telekommunikatsiy* [Communication channels in telecommunication systems]. Sankt-Peterburg, SPbGETU "LETI" Publ., 2001, 48 p. (In Russ.).
- [3] Murav'ev K.A., Khamidullin A.R. Investigation of the waveform and the influence of the length of the coaxial cable on the bandwidth. *Technologies of engineering and information systems*, 2022, no. 1, pp. 12–20. (In Russ.).
- [4] Dmitriev V.E., Popov D.V. The analysis of methods of a dual-beam signal transmission on a fiber-optical cable. *Technologies of engineering and information systems*, 2018, no. 2, pp. 36–47. (In Russ.).
- [5] Apakov M.E., Ayguzhin V., Murav'ev K.A., Panfilkin A.M., Tsivinskaya T.A. Research of the quality of the transmitted signal over various communication lines using the laboratory stand of the set "telecommunication communication lines". *Technologies of engineering and information systems*, 2020, no. 4, pp. 43–55. (In Russ.).

- [6] Vernik S.M., Gitin V.Ya., Ivanov V.S. *Opticheskie kabeli svyazi* [Optical communication cables]. Moscow, Radio i svyaz' Publ., 1988, 144 p. (In Russ.).
- [7] Grechishnikov V.M. *Skhemotekhnika volokonno-opticheskikh ustroystv* [Circuitry of fiber optic devices]. Samara, Samarskiy un-t Publ., 2018, 172 p. (In Russ.).
- [8] Shumkova D.B., Levchenko A.E. *Spetsial'nye volokonnye svetovody* [Special fiber light guides]. Perm', PNIPU Publ., 2011, 178 p. (In Russ.).
- [9] ITU-T. URL: <https://www.itu.int/rec/T-REC-G.650.1-202010-I/> (accessed May 24, 2023).
- [10] ITU-T. URL: <https://www.itu.int/rec/T-REC-G.650.2-201508-I/> (accessed May 24, 2023).
- [11] ITU-T. URL: <https://www.itu.int/rec/T-REC-G.651.1-201811-I/> (accessed May 24, 2023).
- [12] ITU-T. URL: <https://www.itu.int/rec/T-REC-G.652-201611-I/> (accessed May 24, 2023).
- [13] ITU-T. URL: <https://www.itu.int/rec/T-REC-G.653-201007-I/> (accessed May 24, 2023).
- [14] ITU-T. URL: <https://www.itu.int/rec/T-REC-G.654-202003-I/> (accessed May 24, 2023).
- [15] ITU-T. URL: <https://www.itu.int/rec/T-REC-G.655-200911-I/> (accessed May 24, 2023).
- [16] ITU-T. URL: <https://www.itu.int/rec/T-REC-G.656-201007-I/> (accessed May 24, 2023).
- [17] ITU-T. URL: <https://www.itu.int/rec/T-REC-G.657-201611-I/> (accessed May 24, 2023).
- [18] Gulamov A.A., Molchanova T.V. *Topologiya i tekhnologiya opticheskoy seti provodnogo dostupa* [Topology and technology of the optical wired access network]. Kursk, YuZGU Publ., 2018, 19 p. (In Russ.).
- [19] Zingerenko Yu.A. *Passivnye opticheskie seti Xpon* [Passive optical networks Xpon]. Sankt-Petersburg, Universitet ITMO Publ., 2020, 115 p. (In Russ.).
- [20] Ovchinnikova I.A. *Issledovaniya i razrabotka opticheskikh kabeley spetsial'nogo naznacheniya* [Research and development of optical cables for special purposes]. Doct. Diss. Moscow, 2021, 276 p. (In Russ.).
- [21] Beyli D., Rayt E. *Volokonnaya optika: teoriya i praktika* [Fiber optics: theory and practice]. Moscow, KUDITS-OBRAZ Publ., 2006, 320 p. (In Russ.).

Muravyov K.A. — Senior Lecturer, Department of Design and Technology of Electronic Equipment Production, Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russian Federation.

Zaplatin O.A. — Bachelor's Program Student, Department of Design and Technology of Electronic Equipment Production, Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russian Federation.

Toshmamatov S.F. — Bachelor's Program Student, Department of Design and Technology of Electronic Equipment Production, Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russian Federation.

Please cite this article in English as:

Muravyov K.A., Zaplatin O.A., Toshmamatov S.F. Analysis and classification of fiber optic links by application. *Politekhnicheskiy molodezhnyy zhurnal*, 2023, no. 06 (83). (In Russ.). <http://dx.doi.org/10.18698/2541-8009-2023-6-913>