

ISSN 1991-3494

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ
ҰЛТТЫҚ ҒЫЛЫМ АКАДЕМИЯСЫНЫҢ

Х А Б А Р Ш Ы С Ы

ВЕСТНИК

НАЦИОНАЛЬНОЙ АКАДЕМИИ НАУК
РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

THE BULLETIN

OF THE NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES
OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN

1944 ЖЫЛДАН ШЫҒА БАСТАҒАН
ИЗДАЕТСЯ С 1944 ГОДА
PUBLISHED SINCE 1944

2

АЛМАТЫ
АЛМАТЫ
ALMATY

2015

НАУРЫЗ
МАРТ
MARCH

Б а с р е д а к т о р

ҚР ҰҒА академигі

М. Ж. Жұрынов

Р е д а к ц и я а л қ а с ы:

биол. ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА академигі **Айтхожина Н.А.**; тарих ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА академигі **Байпақов К.М.**; биол. ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА академигі **Байтулин И.О.**; биол. ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА академигі **Берсімбаев Р.И.**; хим. ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА академигі **Газалиев А.М.**; а.-ш. ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА академигі **Дүйсенбеков З.Д.**; а.-ш. ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА академигі **Елешев Р.Е.**; физ.-мат. ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА академигі **Қалменов Т.Ш.**; фил. ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА академигі **Нысанбаев А.Н.**; экон. ғ. докторы, проф., ҰҒА академигі **Сатубалдин С.С.**; тарих ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА корр. мүшесі **Әбжанов Х.М.**; физ.-мат. ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА корр. мүшесі **Әбішев М.Е.**; техн. ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА корр. мүшесі **Әбішева З.С.**; техн. ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА корр. мүшесі **Абсадықов Б.Н.** (бас редактордың орынбасары); а.-ш. ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА корр. мүшесі **Баймұқанов Д.А.**; тарих ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА корр. мүшесі **Байтанаев Б.А.**; физ.-мат. ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА корр. мүшесі **Давлетов А.Е.**; физ.-мат. ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА корр. мүшесі **Қалимолдаев М.Н.**; геогр. ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА корр. мүшесі **Медеу А.**; техн. ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА корр. мүшесі **Мырхалықов Ж.У.**; биол. ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА корр. мүшесі **Огарь Н.П.**; техн. ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА корр. мүшесі **Таткеева Г.Г.**; а.-ш. ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА корр. мүшесі **Үмбетаев И.**

Р е д а к ц и я к е ñ е с і:

Ресей ҒА академигі **Велихов Е.П.** (Ресей); Әзірбайжан ҰҒА академигі **Гашимзаде Ф.** (Әзірбайжан); Украинаның ҰҒА академигі **Гончарук В.В.** (Украина); Армения Республикасының ҰҒА академигі **Джрбашян Р.Т.** (Армения); Ресей ҒА академигі **Лаверов Н.П.** (Ресей); Молдова Республикасының ҰҒА академигі **Москаленко С.** (Молдова); Молдова Республикасының ҰҒА академигі **Рудик В.** (Молдова); Армения Республикасының ҰҒА академигі **Сагян А.С.** (Армения); Молдова Республикасының ҰҒА академигі **Тодераш И.** (Молдова); Тәжікстан Республикасының ҰҒА академигі **Якубова М.М.** (Тәжікстан); Молдова Республикасының ҰҒА корр. мүшесі **Лупашку Ф.** (Молдова); техн. ғ. докторы, профессор **Абиев Р.Ш.** (Ресей); техн. ғ. докторы, профессор **Аврамов К.В.** (Украина); мед. ғ. докторы, профессор **Юрген Аппель** (Германия); мед. ғ. докторы, профессор **Иозеф Банас** (Польша); техн. ғ. докторы, профессор **Гарабаджиу** (Ресей); доктор PhD, профессор **Ивахненко О.П.** (Ұлыбритания); хим. ғ. докторы, профессор **Изабелла Новак** (Польша); хим. ғ. докторы, профессор **Полещук О.Х.** (Ресей); хим. ғ. докторы, профессор **Поняев А.И.** (Ресей); профессор **Мохд Хасан Селамат** (Малайзия); техн. ғ. докторы, профессор **Хрипунов Г.С.** (Украина)

Главный редактор

академик НАН РК

М. Ж. Журинов

Редакционная коллегия:

доктор биол. наук, проф., академик НАН РК **Н.А. Айтхожина**; доктор ист. наук, проф., академик НАН РК **К.М. Байпаков**; доктор биол. наук, проф., академик НАН РК **И.О. Байгулин**; доктор биол. наук, проф., академик НАН РК **Р.И. Берсимбаев**; доктор хим. наук, проф., академик НАН РК **А.М. Газалиев**; доктор с.-х. наук, проф., академик НАН РК **З.Д. Дюсенбеков**; доктор сельскохоз. наук, проф., академик НАН РК **Р.Е. Елешев**; доктор физ.-мат. наук, проф., академик НАН РК **Т.Ш. Кальменов**; доктор фил. наук, проф., академик НАН РК **А.Н. Нысанбаев**; доктор экон. наук, проф., академик НАН РК **С.С. Сатубалдин**; доктор ист. наук, проф., чл.-корр. НАН РК **Х.М. Абжанов**; доктор физ.-мат. наук, проф., чл.-корр. НАН РК **М.Е. Абишев**; доктор техн. наук, проф., чл.-корр. НАН РК **З.С. Абишева**; доктор техн. наук, проф., чл.-корр. НАН РК **Б.Н. Абсадыков** (заместитель главного редактора); доктор с.-х. наук, проф., чл.-корр. НАН РК **Д.А. Баймуканов**; доктор ист. наук, проф., чл.-корр. НАН РК **Б.А. Байтанаев**; доктор физ.-мат. наук, проф., чл.-корр. НАН РК **А.Е. Давлетов**; доктор физ.-мат. наук, проф., чл.-корр. НАН РК **М.Н. Калимолдаев**; доктор геогр. наук, проф., чл.-корр. НАН РК **А. Медеу**; доктор техн. наук, проф., чл.-корр. НАН РК **Ж.У. Мырхалыков**; доктор биол. наук, проф., чл.-корр. НАН РК **Н.П. Огарь**; доктор техн. наук, проф., чл.-корр. НАН РК **Г.Г. Таткеева**; доктор сельскохоз. наук, проф., чл.-корр. НАН РК **И. Умбетаев**

Редакционный совет:

академик РАН **Е.П. Велихов** (Россия); академик НАН Азербайджанской Республики **Ф. Гашимзаде** (Азербайджан); академик НАН Украины **В.В. Гончарук** (Украина); академик НАН Республики Армения **Р.Т. Джрбашян** (Армения); академик РАН **Н.П. Лаверов** (Россия); академик НАН Республики Молдова **С. Москаленко** (Молдова); академик НАН Республики Молдова **В. Рудик** (Молдова); академик НАН Республики Армения **А.С. Сагиян** (Армения); академик НАН Республики Молдова **И. Тодераш** (Молдова); академик НАН Республики Таджикистан **М.М. Якубова** (Таджикистан); член-корреспондент НАН Республики Молдова **Ф. Лупашку** (Молдова); д.т.н., профессор **Р.Ш. Абиев** (Россия); д.т.н., профессор **К.В. Аврамов** (Украина); д.м.н., профессор **Юрген Аппель** (Германия); д.м.н., профессор **Иозеф Банас** (Польша); д.т.н., профессор **А.В. Гарабаджиу** (Россия); доктор PhD, профессор **О.П. Ивахненко** (Великобритания); д.х.н., профессор **Изабелла Новак** (Польша); д.х.н., профессор **О.Х. Полещук** (Россия); д.х.н., профессор **А.И. Поняев** (Россия); профессор **Мохд Хасан Селамат** (Малайзия); д.т.н., профессор **Г.С. Хрипунов** (Украина)

«Вестник Национальной академии наук Республики Казахстан». ISSN 1991-3494

Собственник: РОО «Национальная академия наук Республики Казахстан» (г. Алматы)

Свидетельство о постановке на учет периодического печатного издания в Комитете информации и архивов Министерства культуры и информации Республики Казахстан №5551-Ж, выданное 01.06.2006 г.

Периодичность: 6 раз в год

Тираж: 2000 экземпляров

Адрес редакции: 050010, г. Алматы, ул. Шевченко, 28, ком. 219, 220, тел. 272-13-19, 272-13-18.

www: nauka-nanrk.kz, bulletin-science.kz

© Национальная академия наук Республики Казахстан, 2015

Адрес типографии: ИП «Аруна», г. Алматы, ул. Муратбаева, 75

Editor in chief

M. Zh. Zhurinov,
academician of NAS RK

Editorial board:

N.A. Aitkhozhina, dr. biol. sc., prof., academician of NAS RK; **K.M. Baipakov**, dr. hist. sc., prof., academician of NAS RK; **I.O. Baitulin**, dr. biol. sc., prof., academician of NAS RK; **R.I. Bersimbayev**, dr. biol. sc., prof., academician of NAS RK; **A.M. Gazaliyev**, dr. chem. sc., prof., academician of NAS RK; **Z.D. Dyusenbekov**, dr. agr. sc., prof., academician of NAS RK; **R.Ye. Yeleshev**, dr. agr. sc., prof., academician of NAS RK; **T.Sh. Kalmenov**, dr. phys. math. sc., prof., academician of NAS RK; **A.N. Nysanbayev**, dr. phil. sc., prof., academician of NAS RK; **S.S. Satubaldin**, dr. econ. sc., prof., academician of NAS RK; **Kh.M. Abzhanov**, dr. hist. sc., prof., corr. member of NAS RK; **M.Ye. Abishev**, dr. phys. math. sc., prof., corr. member of NAS RK; **Z.S. Abisheva**, dr. eng. sc., prof., corr. member of NAS RK; **B.N. Absadykov**, dr. eng. sc., prof., corr. member of NAS RK (deputy editor); **D.A. Baimukanov**, dr. agr. sc., prof., corr. member of NAS RK; **B.A. Baytanayev**, dr. hist. sc., prof., corr. member of NAS RK; **A.Ye. Davletov**, dr. phys. math. sc., prof., corr. member of NAS RK; **M.N. Kalimoldayev**, dr. phys. math. sc., prof., corr. member of NAS RK; **A. Medeu**, dr. geogr. sc., prof., corr. member of NAS RK; **Zh.U. Myrkhalykov**, dr. eng. sc., prof., corr. member of NAS RK; **N.P. Ogar**, dr. biol. sc., prof., corr. member of NAS RK; **G.G. Tatkeeva**, dr. eng. sc., prof., corr. member of NAS RK; **I. Umbetayev**, dr. agr. sc., prof., corr. member of NAS RK

Editorial staff:

E.P. Velikhov, RAS academician (Russia); **F. Gashimzade**, NAS Azerbaijan academician (Azerbaijan); **V.V. Goncharuk**, NAS Ukraine academician (Ukraine); **R.T. Dzhrbashian**, NAS Armenia academician (Armenia); **N.P. Laverov**, RAS academician (Russia); **S.Moskalenko**, NAS Moldova academician (Moldova); **V. Rudic**, NAS Moldova academician (Moldova); **A.S. Sagiyan**, NAS Armenia academician (Armenia); **I. Toderas**, NAS Moldova academician (Moldova); **M. Yakubova**, NAS Tajikistan academician (Tajikistan); **F. Lupaşcu**, NAS Moldova corr. member (Moldova); **R.Sh. Abiyev**, dr.eng.sc., prof. (Russia); **K.V. Avramov**, dr.eng.sc., prof. (Ukraine); **Jürgen Appel**, dr.med.sc., prof. (Germany); **Joseph Banas**, dr.med.sc., prof. (Poland); **A.V. Garabadzhiu**, dr.eng.sc., prof. (Russia); **O.P. Ivakhnenko**, PhD, prof. (UK); **Isabella Nowak**, dr.chem.sc., prof. (Poland); **O.Kh. Poleshchuk**, chem.sc., prof. (Russia); **A.I. Ponyaev**, dr.chem.sc., prof. (Russia); **Mohd Hassan Selamat**, prof. (Malaysia); **G.S. Khripunov**, dr.eng.sc., prof. (Ukraine)

Bulletin of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan.
ISSN 1991-3494

Owner: RPA "National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan" (Almaty)

The certificate of registration of a periodic printed publication in the Committee of Information and Archives of the Ministry of Culture and Information of the Republic of Kazakhstan N 5551-Ж, issued 01.06.2006

Periodicity: 6 times a year

Circulation: 2000 copies

Editorial address: 28, Shevchenko str., of. 219, 220, Almaty, 050010, tel. 272-13-19, 272-13-18,
<http://nauka-nanrk.kz/>, <http://bulletin-science.kz>

© National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan, 2015

Address of printing house: ST "Aruna", 75, Muratbayev str, Almaty

**THE USE OF FIBER BRAGG GRATINGS IN OPTICAL FIBER
COMMUNICATIONS AND THEIR MAIN CHARACTERISTICS****G. B. Kashaganova, A. T. Jaurbayeva, M. Zhassandykyzy**

Kazakh national technical university named after K. I. Satpayev, Almaty, Kazakhstan.

E-mail: Guljan_k70@mail.ru

Key words: fiber-optic communication lines, fiber optic cable, single mode fiber, multimode fiber, attenuation, dispersion, fiber Bragg grating.

Abstract. The article discusses the use of optical fibers in a fiber-optic communication lines, the main types and characteristics of the optical fiber. Also, manufacturing methods describe basic characteristics of fiber Bragg gratings, and their properties are used in optical fibers.

УДК 621.372

**ПРИМЕНЕНИЕ ВОЛОКОННЫХ РЕШЕТОК БРЭГГА
В ОПТОВОЛОКОННЫХ ЛИНИЯХ СВЯЗИ
И ИХ ОСНОВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ****Г. Б. Кашаганова, А. Т. Джаурбаева, М. Жасандықызы**

Казахский национальный технический университет им. К. И. Сатпаева, Алматы, Казахстан

Ключевые слова: оптоволоконные линии связи, оптоволоконный кабель, одномодовое волокно, многомодовое волокно, затухание, дисперсия, волоконные решетки Брэгга.

Аннотация. В статье рассмотрены вопросы использования оптических волокон в волоконно-оптических линиях связи. Приведены основные виды и характеристики оптического волокна. А также описаны основные методы изготовления, характеристики волоконных Брэгговских решеток, и их свойства используемые в оптических волокнах.

Волоконно-оптические связи линии (ВОЛС) – это вид связи, при котором информация передается по оптическим диэлектрическим волноводам, известным под названием «оптическое волокно». ВОЛС – это информационная сеть, связующими элементами между узлами которой являются волоконно-оптические линии связи. Технологии ВОЛС помимо вопросов волоконной оптики охватывают также вопросы, касающиеся электронного передающего оборудования, его стандартизации, протоколов передачи, вопросы топологии сети и общие вопросы построения сетей.

Оптическое волокно в настоящее время считается самой совершенной физической средой для передачи информации, а также самой перспективной средой для передачи больших потоков информации на значительные расстояния. Оно изготовлено из кварца, основу которого составляет двуокись кремния, – широко распространенного и недорогого материала, в отличие от меди, используемой в обычных проводах. Оптическое волокно очень компактное и легкое, его диаметр всего ок. 100 мкм. Волоконные световоды представляют собой волоконно-оптические жгуты, склеенные или спеченные у концов, защищенные непрозрачной оболочкой и имеющие торцы с полированной поверхностью. Стекловолоконное – диэлектрик, поэтому при строительстве волоконно-оптических систем связи отдельные оптические волокна не нуждаются в изоляции друг от друга. Важное свойство оптического волокна – долговечность. Время жизни волокна, то есть сохранение им своих свойств в определенных пределах, превышает 25 лет, что позволяет проложить оптико-волоконный кабель один раз и, по мере необходимости, наращивать пропускную

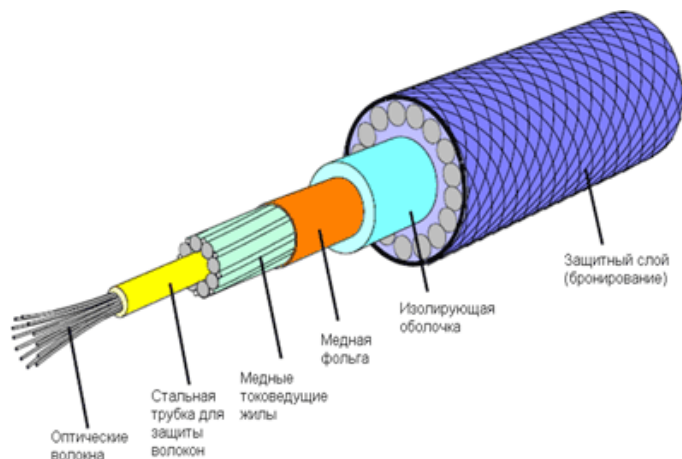


Рисунок 1 –
Структура оптоволоконного кабеля

способность канала путем замены приемников и передатчиков на более быстродействующие, без замены самого кабеля. На рисунке 1 представлен оптоволоконный кабель.

При создании ВОЛС необходимы высоконадежные электронные элементы, преобразующие электрические сигналы в свет и свет в электрические сигналы, а также оптические соединители с малыми оптическими потерями. Поэтому для монтажа таких линий требуется дорогостоящее оборудование. Однако преимущества от применения волоконно-оптических линий связи настолько велики, что, несмотря на перечисленные недостатки оптических волокон, эти линии связи все шире используются для передачи информации. Скорость передачи данных может быть увеличена за счет передачи информации сразу в двух направлениях, т. к. световые волны могут распространяться в одном оптическом волокне независимо друг от друга. Это дает возможность удвоить пропускную способность оптического канала связи.

Волоконно-оптические линии связи устойчивы к электромагнитным помехам, а передаваемая по световодам информация защищена от несанкционированного доступа. К таким линиям связи невозможно подключиться без нарушения целостности линии. Впервые передача сигналов по оптическому волокну была осуществлена в 1975 г. Ныне быстрыми темпами развиваются системы дальней оптической связи на расстояния во многие тысячи километров.

Достоинства волоконно-оптических линий обусловило их широкое применение в телекоммуникационных сетях самых разных уровней – от межконтинентальных магистралей до корпоративных и домашних компьютерных сетей.

Есть в волоконной технологии и свои недостатки.

Недостатки волоконно-оптические линии связи:

– относительная хрупкость оптического волокна. При сильном изгибании кабеля возможна поломка волокон или их замутнение из-за возникновения микротрещин, поэтому при прокладке кабеля необходимо использовать рекомендации производителя оптического кабеля (где, в частности, нормируется минимально допустимый радиус изгиба);

– сложность соединения в случае разрыва;

– сложная технология изготовления, как самого волокна, так и компонентов ВОЛС;

– сложность преобразования сигнала (в интерфейсном оборудовании);

– относительная дороговизна оптического оконечного оборудования;

– однако, оборудование является дорогим в абсолютных цифрах;

– соотношение цены и пропускной способности для ВОЛС лучше, чем для других систем;

– замутнение волокна вследствие радиационного облучения (однако, существуют легированные волокна с высокой радиационной стойкостью).

Одним из важнейших компонентов ВОЛС является оптоволоконный кабель. Определяющими параметрами при производстве оптоволоконного кабеля являются условия эксплуатации и пропускная способность линии связи.

По условиям эксплуатации кабеля подразделяют на:

– монтажные;

– стационарные;

- зоновые;
- магистральные.

Первые два типа кабелей предназначены для прокладки внутри зданий и сооружений. Они компактны, легки и, как правило, имеют небольшую строительную длину.

Кабели последних двух типов предназначены для прокладки в колодцах кабельных коммуникаций, в грунте, на опорах вдоль ЛЭП, под водой. Эти кабели имеют защиту от внешних воздействий и строительную длину более двух километров.

Для обеспечения большой пропускной способности линии связи производятся оптоволоконный кабель, содержащие небольшое число (до 8) одномодовых волокон с малым затуханием, а кабели для распределительных сетей могут содержать до 144 волокон как одномодовых, так и многомодовых, в зависимости от расстояний между сегментами сети [1].

Для передачи сигналов применяются два вида волокна: одномодовое и многомодовое. Своё название волокна получили от способа распространения излучения в них. Волокно состоит из сердцевины и оболочки с разными показателями преломления. В одномодовом волокне диаметр световодной жилы порядка 8-10 мкм, то есть сравним с длиной световой волны. При такой геометрии в волокне может распространяться только один луч (одна мода, как её называют).

В многомодовом волокне размер световодной жилы порядка 50-60 мкм, что делает возможным распространение большого числа лучей (много мод). Многомодовое волокно, в свою очередь, бывает двух видов: со ступенчатым и градиентным профилями показателя преломления по его сечению

На рисунке 2 рассмотрены виды оптоволоконного кабеля и различия между ними.

Распространение луча в волокне. Для того чтобы луч распространялся вдоль волокна, он должен входить в него под углом не более критического относительно оси волокна, то есть попадать в воображаемый входной конус. На рисунке 3 приведен пример отражения луча в одномодовом и многомодовом волокне.

Распространение сигнала в оптоволокне описывается уравнениями Максвелла. В большинстве случаев можно пользоваться приближением геометрической оптики. Если рассматривать распространение сигнала с позиций геометрической оптики, то световые лучи, входящие под различными

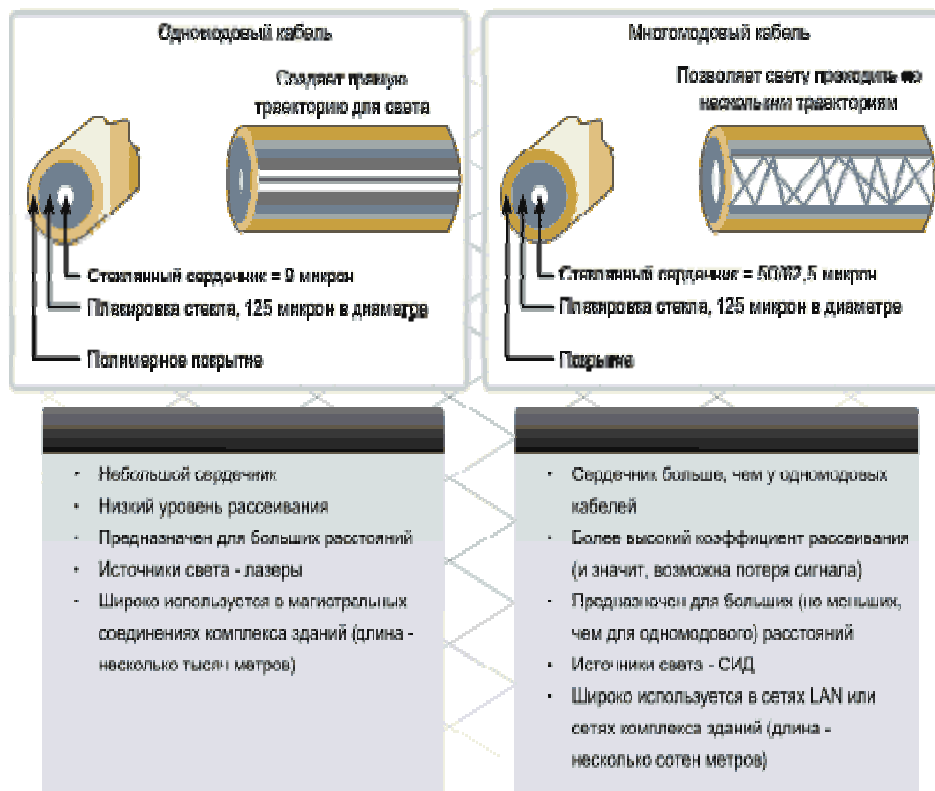


Рисунок 2 – Виды оптоволоконного кабеля

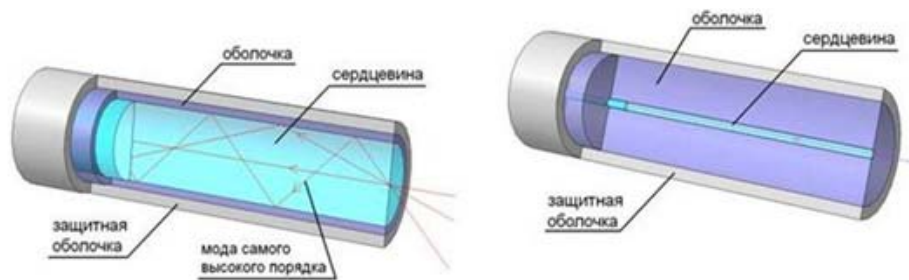


Рисунок 3 – Отражения луча в сердцевике в одномодовом и многомодовом волокне

углами, будут распространяться по различным траекториям. Более высоким модам соответствуют лучи, входящие под большим углом, они будут иметь большее число внутренних отражений по пути в волокне и пройдут более длинный путь. Число мод для конкретного волокна зависит от его конструкции: показателей преломления и диаметров сердцевинки и оболочки, а также и длины волны.

На рисунке 4 рассмотрен пример распространение луча в разных видах волокна.

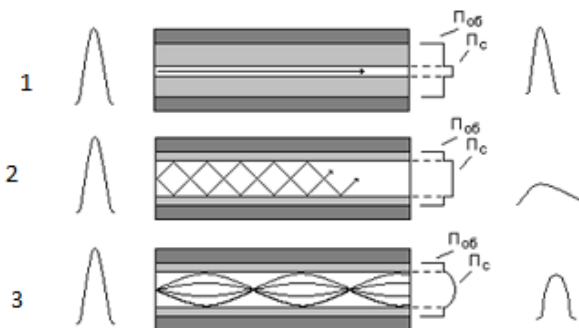


Рисунок 4 – Распространение луча в волокне:

1 – одномодовом, 2 – многомодовом со ступенчатым профилем, 3 – многомодовом с градиентным профилем

Оба типа волокна характеризуются двумя важнейшими параметрами: затуханием и дисперсией.

Затухание определяется потерями на поглощение и на рассеяние излучения в оптическом волокне. Потери на поглощение зависят от чистоты материала, потери на рассеяние зависят от неоднородностей показателя преломления материала. Затухание зависит от длины волны излучения, вводимого в волокно. В настоящее время передачу сигналов по волокну осуществляют в трех диапазонах: 0,85 мкм, 1,3 мкм, 1,55 мкм, так как именно в этих диапазонах кварц имеет повышенную прозрачность.

Затухание света в оптическом волокне, вызванное поглощением света. Поглощение может быть определено как превращение мощности светового импульса в тепло, и связано с резонансом в материале волокна. Существуют внутренние поглощения, связанные со свойствами материала волокна и молекулярным резонансом, и внешние поглощения, определяемые наличием микропримесей в материале волокна (например, ОН-ионов). Современные оптические волокна имеют очень небольшое количество микропримесей, поэтому величина внешнего поглощения минимальна и может не приниматься в расчет.

Затухание света в оптическом волокне, вызванное рассеиванием излучения. Рассеивание – один из основных факторов затухания света в оптическом волокне. Наличие этого типа затухания связано, прежде всего, с дефектами сердцевинки оптического волокна, а также с наличием посторонних вкраплений и примесей в оптическом волокне. Подобные посторонние включения значительно влияют на возможность прохождения светового потока по правильной траектории, приводят к его отклонению и, как следствие, превышению угла преломления и выходу части светового луча через оболочку.

Затухания, связанные с изгибами оптического волокна. Различают два типа изгиба волокна: микроизгиб и макроизгиб.

Микроизгиб – это микроскопические изменения геометрии сердечника волокна, появляющиеся при производстве.

Макроизгибом называют большой изгиб оптического волокна, который превышает минимально допустимый радиус и заставляет световой поток (или часть его) покинуть сердцевину оптического волокна. Минимальный радиус изгиба одномодовых волокон составляет 10 сантиметров. При таком изгибе световой импульс распространяется без сильных искажений. Уменьшение же радиуса изгиба приводит к значительному повышению эффекта рассеивания оптического импульса через оболочку волокна.

Затухание и дисперсия у разных типов оптических волокон различны.

Одномодовые волокна обладают лучшими характеристиками по затуханию и по полосе пропускания, так как в них распространяется только один луч. Однако одномодовые источники излучения в несколько раз дороже многомодовых. В одномодовое волокно труднее ввести излучение из-за малых размеров световодной жилы, по этой же причине одномодовые волокна сложно срывать с малыми потерями. Оконцевание одномодовых кабелей оптическими разъемами также обходится дороже.

Многомодовые волокна более удобны при монтаже, так как в них размер световодной жилы в несколько раз больше, чем в одномодовых волокнах. Многомодовый кабель проще оконцевать оптическими разъемами с малыми потерями. На многомодовое волокно рассчитаны излучатели на длину волны 0.85 мкм – самые доступные и дешевые излучатели, выпускаемые в очень широком ассортименте. Полоса пропускания у многомодовых волокон достигает 800 МГц·км, что приемлемо для локальных сетей связи, но не достаточно для магистральных линий.

Другой важнейший параметр оптического волокна – дисперсия. Дисперсия – это рассеяние во времени спектральных и модовых составляющих оптического сигнала. Дисперсия сильно ограничивает скорость работы оптических систем, заметно снижая граничную полосу пропускания. Дисперсия не только ограничивает частотный диапазон использования световодов, но и существенно снижает дальность передачи по ОК, так как чем длиннее линия, тем больше проявляется дисперсия и больше уширение импульса.

Пропускная способность ОК существенно зависит от типа ВС (одномодовые, многомодовые, градиентные), а также от типа излучателя (лазер, светодиод).

Причинами возникновения дисперсии являются:

- некогерентность источников излучения и появление спектра;
- существование большого количества мод (N).

Существуют три типа дисперсии: модовая, материальная и волноводная.

Модовая дисперсия – присуща многомодовому волокну и обусловлена наличием большого числа мод, время распространения которых различно.

Материальная дисперсия – обусловлена зависимостью показателя преломления от длины волны.

Волноводная дисперсия – обусловлена процессами внутри моды и характеризуется зависимостью скорости распространения моды от длины волны. Поскольку светодиод или лазер излучает некоторый спектр длин волн, дисперсия приводит к уширению импульсов при распространении по волокну и тем самым порождает искажения сигналов. При оценке пользуются термином «полоса пропускания» – это величина, обратная к величине уширения импульса при прохождении им по оптическому волокну расстояния в 1 км. Измеряется полоса пропускания в МГц·км. Из определения полосы пропускания видно, что дисперсия накладывает ограничение на дальность передачи и на верхнюю частоту передаваемых сигналов.

Если при распространении света по многомодовому волокну, как правило, преобладает модовая дисперсия, то одномодовому волокну присущи только два последних типа дисперсии.

Более подробно рассмотрим методы компенсации дисперсии. В настоящее время предложено и исследовано большое количество способов компенсации дисперсии. Их можно разделить на следующие три класса [2]:

- способы компенсации дисперсии, основанные на управлении пространственным распределением дисперсии волоконно-оптической линии связи (ВОЛС) для обеспечения нулевого суммарного (интегрального) значения дисперсии для всей линии;
- способы компенсации дисперсии, основанные на управлении передатчиком или приемником излучения;

– способы компенсации дисперсии, использующие нелинейные оптические эффекты для управления пространственно – временными характеристиками светового импульса.

Принцип компенсации дисперсии, основанный на управлении пространственным распределением дисперсии волоконно-оптической линии связи, заключается в том, что в ВОЛС между участками телекоммуникационного волокна устанавливаются устройства, дисперсия которых равна по величине и противоположна по знаку дисперсии предшествующего им участка телекоммуникационного ОК. Можно рассматривать хроматическую дисперсию как фазовый сдвиг между разными длинами волн сигнала. В компенсирующем волокне фазовый сдвиг постоянен, что предполагает только статический метод компенсации. В идеальном случае фазовый сдвиг спектральных компонент полностью компенсируется в устройстве – компенсаторе хроматической дисперсии.

Наиболее распространенными устройствами для компенсации дисперсии ВОЛС являются:

- отрезки компенсирующего дисперсию волокна;
- устройства на основе волоконных Брэгговских дифракционных решеток;
- интерферометрические устройства.

Оптическое волокно с компенсацией дисперсии является основным компонентом при статическом подавлении хроматической дисперсии. Его отрицательная хроматическая дисперсия в несколько раз превышает положительную хроматическую дисперсию одномодового волокна. Добавление участка волокна с компенсацией дисперсии определенной длины компенсирует дисперсию линии передачи, обращая ее в ноль. Отрицательная дисперсия, как правило, обеспечивается уменьшением диаметра сердцевины и слабым волноводным распространением. К сожалению, недостатком таких волокон со слабым каналированием света является увеличение затухания и потерь на изгибы.

Компенсаторы на основе Брэгговских решеток привлекают в последнее время большое внимание исследователей своими большими потенциальными возможностями. Волоконная Брэгговская решетка FBG (fiber Bragg grating) – оптический элемент, основанный на периодическом изменении показателя преломления сердцевины или оболочки оптического волокна.

К классу нелинейно-оптических методов компенсации хроматической дисперсии относится инверсия спектра световых сигналов в середине линии связи. Принцип работы инверторов спектра основан на явлении обращения волнового фронта (ОВФ), которое заключается в преобразовании одной волны в другую с идентичным распределением амплитуды и фазы и с противоположным направлением распространения. ОВФ получают методом четырехволнового смешения [3].

Нас интересуют компенсаторы на основе волоконных Брэгговских решеток. Более подробно рассмотрим волоконные Брэгговские решетки.

Волоконная решетка Брэгга (FBG) состоит из отрезка оптического волокна, показатель преломления которого периодически изменяется по длине волокна. Эти изменения показателя преломления моделируют структуру решетки Брэгга. Общий метод изготовления FBG состоит в том, что волокно подвергается интенсивному ультрафиолетовому облучению через шаблон, который имеет период, равный периоду решетки, подлежащей изготовлению. Когда германий-силикатная сердцевина волокна экспонируется интенсивным светом, прошедшим через шаблон, в ней формируются структурные дефекты и, следовательно, возникают постоянные изменения показателя преломления. Они имеют ту же периодичность, что и облучаемый ультрафиолетом шаблон [4].

Благодаря своим уникальным оптическим свойствам волоконные брэгговские решетки (ВБР) находят широкое применение в волоконной оптике и оптоэлектронике, в частности, для селекции оптических каналов и компенсации дисперсии в линиях связи, в качестве зеркал в волоконных лазерах и усилителях, как стандартный компонент в системах сжатия оптических импульсов, а также в качестве чувствительного элемента волоконно-оптических датчиков физических величин. Решетки могут создаваться для работы в широком диапазоне длин волн – от ультрафиолетового до инфракрасного [5].

Волоконная решетка показателя преломления представляет собой участок волоконного световода (как правило, одномодового), в сердцевине которого наведена периодическая структура ПП с периодом L , имеющая определенное пространственное распределение. Как правило, решетка

формируется в фоточувствительной сердцевине световода, в то время как ПП кварцевой оболочки остается неизменным. Такая структура обладает уникальными спектральными характеристиками, которые и определяют ее широкое применение в различных устройствах волоконной оптики. Наиболее важным свойством волоконных брэгговских решеток является узкополосное отражение оптического излучения, относительная спектральная ширина которого может составлять 10^{-6} и меньше.

Принцип работы компенсаторов на основе брэгговских решеток с переменным периодом поясняет рисунок 5. Он основан на том, что компоненты с различной длиной волны отражаются от различных участков решетки и, таким образом, проходят различный путь. Решетки записываются (прочерчиваются) в волокне с использованием фоточувствительности определенных типов оптических волокон. Обычное кремниевое волокно при добавлении примеси германия становится чрезвычайно фоточувствительным. Подвергая это волокно воздействию ультрафиолетового света, можно вызвать изменения показателя преломления в сердцевине волокна. В таком волокне решетка может быть создана с помощью облучения волокна двумя интерферирующими ультрафиолетовыми пучками. Это заставляет интенсивность излучения изменяться периодически по длине волокна. Там, где интенсивность высокая, показатель преломления увеличивается, а где она мала, показатель остается без изменений [6].

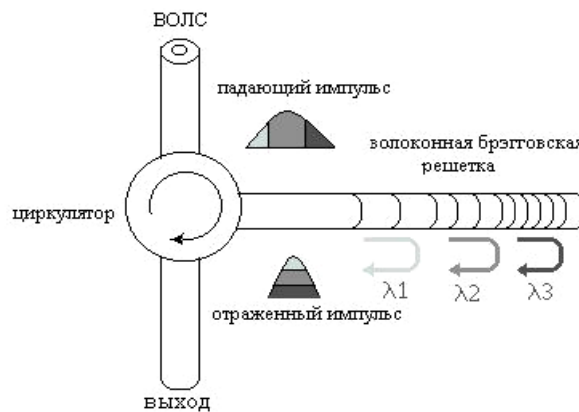


Рисунок 5 – Брэгговская решетка, предназначенная для компенсации дисперсии

Фазовый сдвиг в компенсаторах на волоконных решетках зависит от модуляции интервалов между зонами с повышенным показателем преломления в решетке. Если эти интервалы возрастают вдоль волоконной решетки, то длинноволновая часть сигнала проникнет глубже в решетку, прежде чем полностью отразится. Это приводит к задержке длинноволновых составляющих относительно коротких. Если расстояние между коротковолновой и длинноволновой частями решетки составляет 1 мм, то длинноволновые составляющие будут задержаны приблизительно на 10 пс.

Так как период решетки изменяется вдоль волокна, то и условия отражения для различных спектральных компонент выполняются на разных участках. Для компенсации положительной дисперсии стандартного одномодового волокна используются решетки, в которых коротковолновые составляющие световой волны отражаются в точке, расположенной дальше от начала устройства, чем точка, в которой отражаются длинноволновые составляющие. Тем самым коротковолновые составляющие задерживаются относительно длинноволновых составляющих.

В идеале желательно получить решетку, которая вносит большую дисперсию для широкого диапазона длин волн для применения в системах передачи WDM и DWDM. Максимальная задержка, которая может быть получена с помощью решетки, составляет 1 нс. Эта задержка соответствует произведению дисперсии, вносимой решеткой и длины волны, на которой она возникает. Следовательно, можно получить решетки, которые вносят большую дисперсию для малых диапазонов волн, 1000 пс/нм в диапазоне 1 нм, или малую дисперсию в больших диапазонах волн, например, 100 пс/нм в диапазоне 10 нм. Заметим, что 100 км стандартного волокна вносят общую дисперсию 1700 пс/нм. Поэтому на практике для того, чтобы использовать решетки с линейно изменяющимся периодом для оптического волокна длиной несколько сотен километров, они должны быть очень узкодиапазонными, т.е. необходимо использовать разные решетки для различных длин волн.

Поэтому решетки с линейно изменяющейся постоянной идеально подходят для компенсации отдельных длин волн. Напротив, компенсирующее волокно (DCF) лучше подходит для компенсации широкого диапазона длин волн в системах WDM и DWDM. Однако, по сравнению с решетками с линейно изменяющейся постоянной, DCF вносят большие потери и дополнительные задержки из-за увеличивающихся нелинейностей.

Но FBG имеют и существенные недостатки:

– решетки изготавливаются фотоспособом из фоточувствительного ОВ, со временем под действием световых сигналов происходит нарушение решетки (размывание);

– у большинства компенсаторов на основе волоконных решеток имеется недостаток, заключающийся в том, что сигнал с компенсированной дисперсией отражается в обратном направлении, поэтому для отделения входа от выхода нужно использовать оптический циркулятор;

– для нормального функционирования устройства на основе FBG необходима стабилизация температурных условий, что увеличивает общую стоимость компенсатора.

Изготовление волоконных брэгговских решеток обычно включает в себя освещение основного материала ультрафиолетовым светом лазера (например, KrF или ArF эксимерного лазера или другой вид ультрафиолетового лазера), который вызывает некоторые структурные изменения и, таким образом постоянное изменение показателя преломления. Фоточувствительность активного стекла на самом деле сильно зависит от химического состава и длины волны УФ: кварцевое стекло имеет очень слабую фоточувствительность, в то время как германо-силикатный вид стекла имеет гораздо более сильный эффект, что делает возможным коэффициент преломления до $\sim 10^{-3}$. Значительное дальнейшее увеличение светочувствительности можно достичь путем загрузки волокна с водородом (гидрогенизированные волокна). (Для этой цели, волокно хранится в атмосфере водорода под высоким давлением в течение некоторого времени.) Фосфатные стекла, как правило, рассматриваются как непригодные для изготовления ВБР, но специальные методы делают это возможным.

Первые ВБР были изготовлены с видимым лазерным лучом, распространяющимся вдоль сердцевинки волокна, но в 1989 году более универсальный метод был продемонстрирован G. Meltz с использованием интерферометрических суперпозиций ультрафиолетовых лучей, которые приходят со стороны волокна (поперечном голографической технике). Угол между пучками ультрафиолетового определяет период светового потока в сердцевине волокна и, следовательно, длину волны Брэгга.

А также для производства решеток могут использоваться другие методы, например, фазовые маски. Она является дифракционным оптическим элементом. После ее облучения пучком света, она расщепляет этот пучок на разные дифракционные порядки, которые потом интерферируют, прочерчивая решетку внутри волокна.

Другим методом является техника точка за точкой, где регионы с повышенным показателем преломления пишутся по точкам с небольшой сфокусировкой луча лазера. Это необходимая (и очень гибкий) методика особенно на длиннопериодных решетках Брэгга.

Вместо того ультрафиолетовый свет, инфракрасный свет в виде интенсивных ультракоротких (фемтосекундных) импульсов также может быть использован для записи брэгговских решеток в различных видах стекла. В этом случае двухфотонное поглощение происходит вблизи фокуса лазерного луча, но не в регионах за пределами фокуса. Можно даже записать решетку на волокне с полимерным покрытием, так как интенсивность в покрытии значительно ниже, когда пучок фокусируется в сердцевине волокна. Совершенно другой метод, в котором используется инфракрасный свет изготовления длиннопериодных ВБР в фотоннокристаллических волокнах при облучении лучом CO₂ лазера.

В зависимости от условий записи, существуют различные физические механизмы, участвующие в формировании брэгговской решетки, и различают различные типы решеток.

Тип I: решетки записываются с умеренной интенсивностью и проявляют шаговое перемещение решетки вверх вразрез сердцевине.

Тип II: решетки могут быть записаны с гораздо более высокой интенсивностью в течение очень короткого времени, часто однократными импульсами длительностью 1 нс от эксимерного лазера (*single-shot damage gratings*). Они могут быть написаны на башне для вытягивания волокна непосредственно перед покрытием волокна полимерной оболочкой, что позволяет избежать процесса удаления уже изготовленного покрытия, а также получает решетки с полной механической прочностью обычного волокна.

Волоконные брэгговские решетки достаточно прочные, но степень прочности (например, температура, при которой решетки могут быть стерты) сильно зависит от материала волокна и детали решетки изготовления. Оптические свойства могут меняться в течение некоторого времени после изготовления, прежде чем они оседают на их окончательные значения. Для достижения стабильного состояния быстрее, может быть применена процедура отжиг, которая обычно означает, что волокно хранится в какой-то повышенной температуре в течение нескольких часов.

Анализируя вышеизложенные особенности оптоволоконного кабеля, мы убедились, что есть основания считать, что оптическое волокно считается не только самой совершенной физической средой для передачи информации, но и самой перспективной средой для передачи больших потоков информации на значительные расстояния. А также сделали обзор волоконным решеткам Брэгга, применяемые в оптоволоконном кабеле.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Ионов А.Д. Волоконно-оптические линии передачи. – Новосибирск: СибГУТИ, 1999. – 132 с.
- [2] Агравал Г.П. Нелинейная волоконная оптика. – М.: Мир, 1996.
- [3] Зельдович Б.Я., Шкунов В.В. Обращение волнового фронта // В мире науки, 1992.
- [4] Фриман Р. «Волоконно-оптические системы связи». – М.: Техносфера, 2003. – 440 с.
- [5] Васильев С.А., Медведков О.И. и др. Волоконные решетки показателя преломления и их применения: обзор ИЦВО РАН // Квантовая электроника. – 2005. – Т. 35, № 12. – С. 1085-1103.
- [6] Иванов А.Б. Волоконная оптика: компоненты, системы передачи, измерения. – М.: Компания САЙРУС СИСТЕМС, 1999.
- [7] «Волоконно-оптические системы передачи и кабели» Справочник / Под ред. Гроднева И.И., Мурадяна А.Г., Шарафутдинова Р.М. и др. – М.: Радио и связь, 1993.
- [8] Волоконно-оптические линии связи. Справочник / Под ред. Свечникова С.В. и Андрушко Л.М. – Киев: Тэхника, 1988.
- [9] Листвин А.В., Листвин В.Н., Швырков Д.В. Оптические волокна для линий связи. – Вэлком, 2002.

REFERENCES

- [1] Ionov A.D. *Fiber optic transmission line*. Novosibirsk: SibSUTI, 1999, 132 p. (in Russ).
- [2] Agrawal G.P. *Nonlinear fiber optics*. 1996. M.: Mir. (in Russ).
- [3] Zeldovich B.Ya., Shkunov V.V. *Phase conjugation*. In the world of science, 1992. (in Russ).
- [4] Freeman R. «*Fiber-optic communication systems*». 2003, Moscow: Technosphere, 440 p. (in Russ).
- [5] Vasiliev S.A., Medvedkov O.I. et al. *Fibre gratings and their applications a review of FORC RAS Quantum Electronics*, 2005. Vol. 35, N 12. P. 1085-1103. (in Russ).
- [6] Ivanov A.B. *Fiber Optics: components of a transmission measurement*. M.: Company Cyrus SYSTEMS, 1999. (in Russ).
- [7] *Fiber-optic transmission systems and cables*. Handbook. Ed. Grodneva I.I., Muradian A.G., Sharafutdinova R.M. et al. M.: Radio and Communications, 1993 (in Russ).
- [8] *Fiber-optic communication lines*. Handbook. Ed. Svechnikova S.V. and Andrushko L.M. Kiev: TECHNIK, 1988 (in Russ).
- [9] Listvin A.V. Listvin V.N., Shvyrkov D.V. *Optical fiber communication lines*. Welcome to my Blog, 2002. (in Russ).

ОПТИКАЛЫҚ ТАЛШЫҚТЫ БАЙЛАНЫС ЖЕЛІЛЕРІНДЕ ТАЛШЫҚТЫ БРЭГГ ТОРЛАРЫН ҚОЛДАНУ ЖӘНЕ ОЛАРДЫҢ НЕГІЗГІ СИПАТТАМАЛАРЫ

Г.Б. Қашағанова, А.Т. Джаурбаева, М. Жасандықызы

Қ. И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық университеті, Алматы, Қазақстан

Тірек сөздер: оптикалық талшықты байланыс желілері, оптоталшықты сымдары, бірмодты талшық, көпмодты талшық, өшу, дисперсия, Брэгг талшықты торы.

Аннотация. Мақалада оптикалық – талшықты байланыс желісінің оптикалық талшықтардың пайдалану сұрақтары қарастырылған. Оптикалық талшықтың негізгі түрлері және сипаттамасы көрсетілген. Сонымен қатар, Брэгг талшықты торларын дайындаудың негізгі тәсілдері және олардың оптикалық талшықтардағы қолданылатын қасиеттері сипатталған.

Поступила 20.03.2015 г.

Publication Ethics and Publication Malpractice in the journals of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan

For information on Ethics in publishing and Ethical guidelines for journal publication see <http://www.elsevier.com/publishingethics> and <http://www.elsevier.com/journal-authors/ethics>.

Submission of an article to the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan implies that the described work has not been published previously (except in the form of an abstract or as part of a published lecture or academic thesis or as an electronic preprint, see <http://www.elsevier.com/postingpolicy>), that it is not under consideration for publication elsewhere, that its publication is approved by all authors and tacitly or explicitly by the responsible authorities where the work was carried out, and that, if accepted, it will not be published elsewhere in the same form, in English or in any other language, including electronically without the written consent of the copyright-holder. In particular, translations into English of papers already published in another language are not accepted.

No other forms of scientific misconduct are allowed, such as plagiarism, falsification, fraudulent data, incorrect interpretation of other works, incorrect citations, etc. The National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan follows the Code of Conduct of the Committee on Publication Ethics (COPE), and follows the COPE Flowcharts for Resolving Cases of Suspected Misconduct (http://publicationethics.org/files/u2/New_Code.pdf). To verify originality, your article may be checked by the Cross Check originality detection service <http://www.elsevier.com/editors/plagdetect>.

The authors are obliged to participate in peer review process and be ready to provide corrections, clarifications, retractions and apologies when needed. All authors of a paper should have significantly contributed to the research.

The reviewers should provide objective judgments and should point out relevant published works which are not yet cited. Reviewed articles should be treated confidentially. The reviewers will be chosen in such a way that there is no conflict of interests with respect to the research, the authors and/or the research funders.

The editors have complete responsibility and authority to reject or accept a paper, and they will only accept a paper when reasonably certain. They will preserve anonymity of reviewers and promote publication of corrections, clarifications, retractions and apologies when needed. The acceptance of a paper automatically implies the copyright transfer to the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan.

The Editorial Board of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan will monitor and safeguard publishing ethics.

Правила оформления статьи для публикации в журнале смотреть на сайте:

www.nauka-nanrk.kz

bulletin-science.kz

Редакторы *М. С. Ахметова, Д. С. Аленов, Т. А. Апендиев*
Верстка на компьютере *Д. Н. Калкабековой*

Подписано в печать 14.04.2015.
Формат 60x881/8. Бумага офсетная. Печать – ризограф.
18,9 п.л. Тираж 2000. Заказ 2.