

Кубенко Егор Георгиевич, кандидат технических наук,
ФГБОУ ВО «Краснодарское высшее военное училище
имени генерала армии С. М. Штеменко»

Семёнов Алексей Дмитриевич, слушатель,
ФГБОУ ВО «Краснодарское высшее военное училище
имени генерала армии С. М. Штеменко»

Рядинский Игорь Алексеевич, слушатель,
ФГБОУ ВО «Краснодарское высшее военное училище
имени генерала армии С. М. Штеменко»

Жила Дмитрий Георгиевич, слушатель,
ФГБОУ ВО «Краснодарское высшее военное училище
имени генерала армии С. М. Штеменко»

Пономарев Василий Юрьевич, слушатель,
ФГБОУ ВО «Краснодарское высшее военное училище
имени генерала армии С. М. Штеменко»

СПОСОБЫ ЗАЩИТЫ ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКОЙ ЛИНИИ СВЯЗИ ОТ ВЛИЯНИЯ РАДИАЦИИ НА КАЧЕСТВО ПЕРЕДАЧИ ИНФОРМАЦИИ

Аннотация. Оптоволокно – это тонкое стеклянное или пластиковое волокно, которое служит каналом для передачи световых сигналов. Благодаря высокой скорости передачи данных и низким потерям оптоволокно широко применяется в телекоммуникациях, медицинском оборудовании, промышленности и военной сфере. Однако в некоторых условиях эксплуатации, например, на объектах с высоким уровнем радиации (космические аппараты, ядерные реакторы, аппаратура в радиационно-опасных зонах), оптоволокно подвергается ионизирующему излучению, что может вызвать ухудшение его свойств и работу систем в целом.

Цель статьи – рассмотреть влияние радиации на работу оптоволокна.

Ключевые слова: Радиация, ионизирующая радиация, неонизирующая радиация, волоконно-оптический кабель.

Введение

В современном мире информационных технологий быстро растут объемы передаваемых данных, увеличивается необходимость в высокоскоростных, надежных каналах связи. Одним из ключевых решений для передачи информации на большие расстояния стали волоконно-оптические кабели.

Радиация – это излучение, несущие энергию. Основные виды радиации, влияющие на оптоволокно:

Ионизирующая радиация – содержит достаточно энергии, чтобы ионизировать атомы и молекулы (гамма-лучи, рентгеновские лучи, бета- и альфа-частицы, нейтроны).

Неионизирующая радиация – ультрафиолетовое, инфракрасное излучение, радиоволны, которые не повреждают структуру материала так сильно, как ионизирующая радиация.



Волоконно-оптический кабель (также волоконно-оптический линия связи (далее – ВОЛС) – кабель на основе волоконных световодов (оптоволокна), предназначенный для передачи сигналов в волоконно-оптических линиях связи посредством электромагнитных волн видимого (свет) или инфракрасного диапазонов

Основная часть

Оптическое волокно представляет собой диэлектрический слоистый цилиндрический волновод круглого сечения, как правило находящийся внутри защитной оболочки. Показатель преломления сердцевины волокна (n_1) больше показателя преломления оболочки (n_2). Волноведущие свойства волокна основаны на явлении полного внутреннего отражения. Если угол падения света на границу раздела сердцевина-оболочка (ϕ_1) удовлетворяет условию, то свет не может $n_1 \sin (\phi_1) > n_2$ покинуть сердцевину волновода.

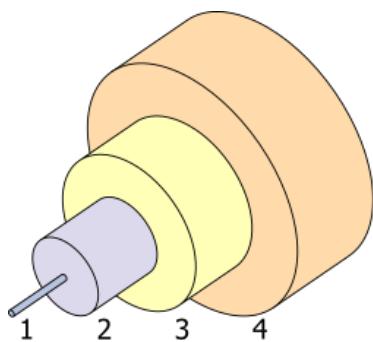
Структура оптоволокна и уязвимые места

Оптоволокно состоит из (Рис.1):

Сердцевины (ядра) – тонкая стеклянная нить, по которой распространяется свет.

Оболочки – материал с более низким показателем преломления, удерживающий свет внутри сердцевины.

Защитных покрытий – защищают волокно от механических повреждений и внешних воздействий.



Принципиальная
схема одномодового волокна.

1. Сердцевина
2. Оболочка
- 3-4. Защитные слои

Рисунок 1. "Принципиальная схема одномодового волокна"

Радиация разрушает оптоволокно, вызывая накопление дефектов в стекле, что приводит к увеличению затухания сигнала и снижению его качества. Причиной является ионизация атомов кремния под воздействием высокоэнергетических частиц, которая приводит к изменению их структуры и оптических свойств. Это накапливающееся явление, называемое радиационным потемнением, делает волокно менее прозрачным и может привести к потере сигнала, хотя некоторые типы волокон показывают способность к восстановлению между циклами облучения.

1. Ионизация атомов: ионизирующее излучение (например, альфа бета- и гамма-частицы) выбивает электроны из атомов диоксида кремния (SiO_2), являющегося основой стекла, изменяя их структуру.

2. Образование дефектов: повреждение кристаллической решетки создает радиационные дефекты, которые изменяют показатель преломления стекла и ухудшает передачу света. Причина данного явления в следующем: повреждения изменяют микроструктуру сердцевины и оболочки оптоволокна.

3. Накопление повреждений: со временем эти дефекты накапливаются, вызывая потемнение волокна, а также поглощают свет на определённых длинах волн, увеличивая затухание – потерю световой энергии.



4. Миграция электронов и ионов: ионизация приводит к миграции электронов и легирующих примесей, а также к образованию гидроксильных групп, что также влияет на оптические свойства стекла.

5. Прочие негативные эффекты: радиация может нагревать материал, что приводит к дополнительным напряжениям и дефектам.

Пример:

При дозах до 10 Гр затухание увеличивается на 0,1 дБ/км.

При дозах 100 Гр – затухание достигает 1–2 дБ/км и более.

Последствия для работы оптоволокна:

1. Увеличение затуханий сигнала – основное негативное последствие, приводящее к ухудшению качества связи.

2. Изменение спектра пропускания – некоторые длины волн становятся менее эффективны для передачи.

3. Сокращение срока службы – из-за накопления радиационных повреждений волокно становится менее надежным.

4. Нарушения в передаче данных – усиление шумов и искажений.

Способы повышения стойкости к воздействию радиации на ВОЛС:

1. Использование специальных материалов

Волокна из кварцевого стекла с пониженным содержанием примесей.

Применение гидроксильных групп (ОН), влияющих на стойкость.

2. Структурные методы

Оптоволокна с разными геометрическими параметрами.

Многомодовые волокна, которые менее чувствительны к радиации по сравнению с одномодовыми.

3. Защитные покрытия и экранирование (Табл.1)

Полимерные покрытия с высокой устойчивостью к радиации.

Металлические или композитные экраны вокруг волокна.

Таблица 1

Параметр	Стандартное оптоволокно	Радиозащищённое оптоволокно
Потери при радиационной нагрузке	Значительные – быстро растут с дозой	Минимальные – сохраняют низкие уровни затухания
Срок службы при радиации	Несколько месяцев – года	Обеспечивают долгосрочную эксплуатацию в радиационных условиях
Стоимость	Ниже	Выше, за счет применения

Защищенное от радиации оптоволокно имеет многослойную структуру, где ядро из стекла или пластика защищено от воздействия радиации различными оболочками и заполнителем. Ключевые компоненты включают: несущий стержень (стеклопластиковый или металлический), оптоволокно с защитными покрытиями (лак, краска), оптический модуль (из полиэтилена или ПБТ) с гидрофобным гелем, а также броня из стальных проволок и внешняя защитная оболочка из полимера.

Состав защищенного от радиации оптоволокна

Несущий элемент: Центральный стержень из стеклопластика или металла, который обеспечивает жесткость кабеля.



Оптическое волокно: Световоды, покрытые одним или двумя слоями защитного лака или краски для цветовой маркировки и защиты от повреждений.

Оптический модуль: Пластиковые трубы (из полиэтилена, поликарбоната, ПБТ или полиамида), в которых размещаются волокна.

Гидрофобный гель: заполняет пространство внутри оптических модулей для защиты от влаги и механических воздействий.

Броня: Слой высокопрочных стальных оцинкованных проволок или кевларовых нитей, который обеспечивает механическую защиту кабеля, в том числе от радиационного повреждения.

Внешняя оболочка: Полимерная, часто из полиэтилена, для защиты от внешних факторов, включая радиацию.

4. Системные подходы

Постоянная калибровка и компенсация затуханий путем усиления сигнала. А также использование специальных алгоритмов обработки сигналов для компенсации искажений.

Примеры применения и исследования данного влияния

Космическая отрасль: оптоволокно в спутниках и космических станциях подвергается интенсивному космическому излучению, поэтому применяются радиационно-устойчивые типы стекла и защитные покрытия.

Ядерная энергетика: использование оптических датчиков и коммуникаций на АЭС требует материалов, способных выдержать высокие дозы радиации без потери качества передачи.

Медицинское оборудование: в рентген- и радиотерапевтических установках применяются оптоволоконные системы, которые должны сохранять стабильность под воздействием излучения.

Вывод

Воздействие ионизирующей радиации вызывает структурные изменения в оптоволоконных материалах, что приводит к образованию цветных центров, увеличению потерь и ухудшению качества передачи сигнала. Для обеспечения надежной работы оптоволоконных систем в условиях радиации используются специальные материалы и технологии, позволяющие повысить устойчивость волокон к излучению.

Разработка и внедрение радиационно-устойчивого оптоволокна является важной задачей для космической отрасли, атомной энергетики и других сфер, где требуется высокая надежность и долговечность волоконно-оптических систем.

Список литературы:

1. «Оценка радиационной стойкости оптоволоконных линий на основе халькогенидных стекол» Герасименко В.В., Кабальнов Ю.А.2, Качемцев А.Н., Скрипачев И.В., Скупов А.В., Снопатин Г.Е., Труфанов А.Н., Тупиков Н.Е. – Институт химии высокочистых веществ им. Г.Г. Девятых РАН, г. Нижний Новгород, Россия; Филиал РФЯЦ-ВНИИЭФ «НИИИС им. Ю.Е. Седакова», г. Нижний Новгород, Россия

2. «Проблемы обеспечения радиационной стойкости волоконно-оптических гироскопов и пути ее повышения (обзор)» Егоров Д.А., Рупасов А.В., Унтилов А.А. – АО «Концерн «ЦНИИ «Электроприбор», С.-Петербург

3. Стародубцев, Ю. И. Экспериментальная методика и результаты обработки данных об электромагнитной обстановке в ультракоротковолновом диапазоне / Ю. И. Стародубцев, А. В. Акишин // Системы управления, связи и безопасности. – 2018. – № 4. – С. 226-248.



4. Акишин, А. В. Экспериментальная методика и результаты оценки уровня помех в ультракоротковолновом диапазоне / А. В. Акишин, В. В. Алашев, П. Ю. Стародубцев // Актуальные проблемы инфотелекоммуникаций в науке и образовании (АПИНО 2018): сборник научных статей: в 4 томах, Санкт-Петербург, 28 февраля – 01 2018 года / Под редакцией С. В. Бачевского, составители: А. Г. Владыко, Е. А. Аникеевич. Том 3. – Санкт-Петербург: Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М.А. Бонч-Бруевича, 2018. – С. 4-9.

5. Акишин, А. В. Экспериментальная методика и результаты оценки временной устойчивости уровня помех в ультракоротковолновом диапазоне до 2 ГГц / А. В. Акишин, А. А. Бречко, Ю. И. Стародубцев // Радиолокация, навигация, связь: Сборник трудов XXIV Международной научно-технической конференции. В 5-и томах, Воронеж, 17–19 апреля 2018 года. Том 4. – Воронеж: Общество с ограниченной ответственностью "Вэлборн", 2018. – С. 397-401.

