

Рассеяние Рэлея в оптическом волокне

О.Г.Митченкова, инженер 2 категории департамента эксплуатации сетей доступа ОДС АО "Казакхтелеком", г. Кокшетау, аспирант СибГУТИ / oksana_mitchenko@mail.ru

УДК 621.391.63:681.7.068, DOI: 10.22184/2070-8963.2024.119.3.76.78

Проанализированы основные функциональные возможности мониторинга на принципах рассеяния Рэлея. Представлен анализ среды распространения импульсного излучения накачки, расчет фиксации отклика, вызванного потоком обратного рэлеевского рассеяния на основе методов математического моделирования, определяющего взаимосвязь микро- и макропараметров оптического волокна.

Введение

Регламентированный контроль параметров волоконно-оптических линий связи (ВОЛС) является основой технической эксплуатации линейно-кабельного оборудования. В этой связи задача мониторинга оптического тракта является весьма актуальной. Технологический уровень систем мониторинга позволяет оценить ключевые моменты технического обслуживания сети методами обратного рассеяния Рэлея и спектрального анализа Мандельштама – Бриллюэна.

Особенности компонентов рассеяния Рэлея

В реальной неоднородной среде [1] свет распространяется равномерно без преимущественной ориентации, так как статистические флуктуации локальной

диэлектрической проницаемости (ϵ) и коэффициента преломления (n) связаны зависимостью:

$$n = \sqrt{\epsilon \mu},$$

где: μ – магнитная проницаемость.

Для кварца $\mu = 1$, тогда $n = \sqrt{\epsilon}$.

При мониторинге ВОЛС средой распространения является сердечник оптического волокна (ОВ), которое изготавливается из химически чистого кварца SiO_2 . По сердечнику распространяется импульсное излучение длиной волны $\lambda = 1550$ нм.

Требования процесса производства ОВ к контролю чистоты и качества кварца такие же строгие, как принятые в полупроводниковой промышленности. Однако получить чистый на 100% кварц невозможно из-за

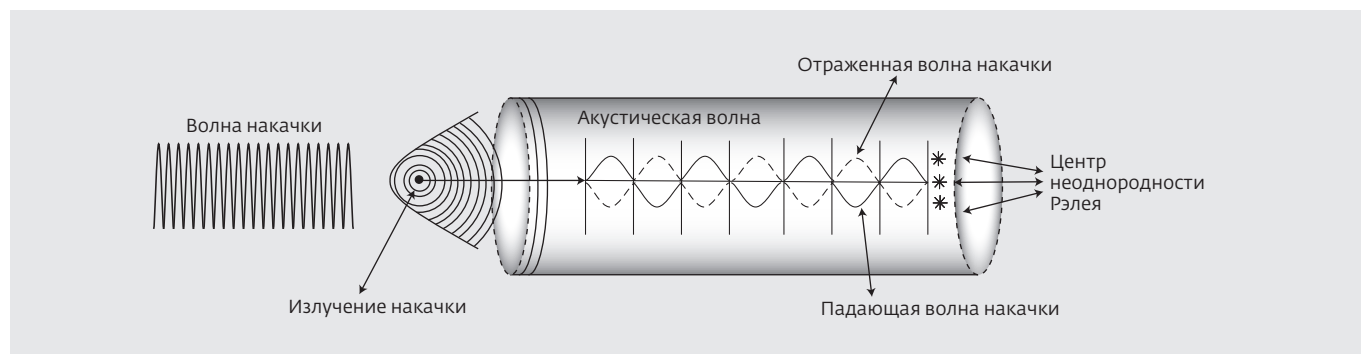


Рис.1. Формирование акустической волны в среде при суперпозиции падающей и отраженной волн накачки

Таблица 1. Системообразующие факторы рассеяния Рэлея

№	Компоненты рассеяния Рэлея	Характеристика компонента	Формула
1	Длина волны импульсного излучения накачки	Формирование обратного рассеяния Рэлея	$\lambda_{\text{изл}} = 1550 \text{ нм}$
2	Оптический показатель преломления падающей волны накачки	Устанавливает связь оптических свойств с электрическими и магнитными свойствами среды распространения в зависимости от мощности оптического излучения	$N = \sqrt{\epsilon\mu}$ $\mu = 1$ $n = \sqrt{\epsilon}$ $n = 1,47$
3	Мощность обратно рассеянной волны Рэлея	Позволяет рассчитать потери мощности обратно рассеянного оптического излучения Рэлея	$P_x = 0,5 P_0 \cdot \Delta t \cdot S \cdot v_{\text{гп}} \cdot a_d \cdot e^{-2\alpha x}$
4	Километрическое затухание оптического волокна	- Определение потерь линий в целом; - локализация неоднородностей и измерение потерь на них; - определение точного месторасположения точек обрыва и повреждений	$\alpha_R = 0,118 \text{ дБ/км};$ $\alpha_R = \frac{4,34n8\pi^3(n^2-1) \cdot k\beta T \cdot 10^{-3}}{3\lambda_{\text{изл}}^4}$
5	Акустическая волна	Компонент, обеспечивающий процессы: - модуляции оптического показателя преломления падающей волны оптического излучения; - поглощения фотонов излучения с генерацией фононов; - определения мощности потерь рэлеевского рассеяния	$v_A = \sqrt{E/\rho} = 5,68 \cdot 10^3 \text{ м/с}$
6	Законы геометрической оптики	Позволяют оценить соотношение длин волн оптического излучения и акустической волны в среде распространения	$\lambda_{\text{изл}} = 2n \lambda_A \cdot \sin\Theta;$ $\lambda_A = \lambda_{\text{изл}}/2n \cdot \sin\Theta/2 = 688 \text{ нм}$

остатков примесей ионов металлов и гидроксильных групп (ОН), которые образуют центры рассеяния Рэлея.

Фактически такая направляющая среда представляет собой диэлектрический волновод, в котором распространяются электромагнитные колебания оптического диапазона частот – порядка 10^{14} Гц. Рэлеевское рассеяние индуцируется неоднородностью направляющей среды оптического волокна, где происходит формирование акустической волны (рис.1) при воздействии энергии импульсного излучения накачки.

Основные компоненты рассеяния Рэлея, краткие характеристики и формулы, устанавливающие взаимосвязь микро- и макропараметров среды распространения излучения накачки, представлены в табл.1.

Значение километрического затухания, рассчитанного по формуле п. 4 обратно пропорционально четвертой степени длины волны и составляет 0,118 дБ/км, что определяет значение мощности обратно рассеянной волны в п.3.

Потери мощности обратно-рассеянного оптического излучения Рэлея:

$$P_x = 0,5P_0 \cdot \Delta t \cdot 10^{-5} e^{-2\alpha x},$$

$$P_x = 0,5P_0 \cdot \Delta t \cdot S \cdot v_{\text{гп}} \cdot a_d \cdot e^{-2\alpha x},$$

где P_0 – мощность излучения накачки;
 α – километрическое затухание оптического волокна;
 x – расстояние до места неоднородности ОВ.

Рассеяние Рэлея объединяет время и пространство понятиями акустическая волна и законами геометрической оптики, что пояснено в п.6 табл.1. При движении акустической волны вдоль сердечника ОВ за счет фотоупругого эффекта кварца происходит периодическая модуляция показателя преломления. Скорость распространения акустической волны изменяется от $5,7 \cdot 10^3$ до $5,94 \cdot 10^3$ м/с согласно выражению:

$$v_a = \sqrt{E/\rho}, \text{ м/с},$$

где $E = 71$ ГПа – модуль упругости Юнга;
 $\rho = 2200$ кг м³ – удельный коэффициент
 плотности среды, зависит от параметров
 сердечника оптического волокна в отклике
 зондирующего излучения.

Взаимодействие волны импульсного излучения и акустической волны определяется соотношением, приведенным в п.6 табл.1:

$$\lambda_A = \lambda_{\text{изл}} / 2n \cdot \sin \Theta / 2, \text{ нм},$$

где n – оптический показатель преломления,
 Θ – угол между направлением распростра-
 нения падающей и отраженной волны.

Эволюция формирования компонентов акустической волны определяется законами волновой и геометрической оптики. Пространственно-временные характеристики рассеяния Рэлея в ОВ способствовали определению километического затухания согласно выражению [2]:

$$\alpha_R = \frac{4,34 \cdot 8\pi^3 (n^2 - 1)}{3\lambda^4} k\beta T \cdot 10^{-3}, \text{ дБ/км},$$

где n – коэффициент преломления среды: 1,48;
 k – постоянная Больцмана: $1,38 \cdot 10^{-23}$ Дж/К;
 T – температура затвердевания кварцевого
 стекла при вытяжке ОВ: 1500 К;

β – коэффициент изотермической сжимае-
 мости кварца: $8,1 \cdot 10^{-11}$ м²/Н;
 λ – длина волны импульсного излучения
 накачки $1,568 \cdot 10^{-6}$ м.

Заключение

Представлен процесс рассеяния Рэлея, который определяет количественные параметры основных характеристик ОВ согласно законам геометрической и волновой оптики. Оптическая рефлектометрия на принципах рассеяния Рэлея является одной из эффективных технологий контроля пространственно-временных характеристик оптического волокна.

Дальнейшие разработки измерительной техники и метрологического обеспечения специалистов линейно-кабельных сооружений – это практическая реализация динамики развития и внедрения оптических технологий в сетях телекоммуникаций.

ЛИТЕРАТУРА

1. Engelbrecht R. Nichtlineare Faseroptik. Springer, 2014
2. Скляров О.К. Волоконно-оптические сети и системы связи. М.: СОЛОН-Пресс, 2004. 272 с.
3. Листвин А.В., Листвин В.Н. Рефлектометрия оптических волокон. М.: ЛЕСАРпт, 2005. 208 с.

Минсвязи Республики Беларусь подвело итоги первого квартала



Министерство связи и информатизации Беларуси сообщило об итогах хозяйствен-

ной деятельности организаций своей системы в первом квартале 2024 года. Как отмечает в сообщении, итоги характеризуются сохранением стабильных результатов деятельности организаций системы Минсвязи.

Обеспечены темпы роста выручки от реализации продукции, товаров, работ, услуг: 107,2%, прибыли от реализации: 111,9%. Рентабельность реализованной продукции (работ, услуг) составила 14,6% с приростом к аналогичному периоду прошлого года на 0,7 процентного пункта, рентабельность продаж – 10,7% с приростом на 0,4 процентного пункта.

Среднемесячная заработная плата в отрасли достигла уровня 112% относительно первого квартала 2024 года.

Количество абонентов ШПД к сети Интернет составило 11 404 тыс., в том числе

беспроводного – 8 186,8 тыс. (по статистике министерства – 89,8 на 100 жителей), стационарного – 3 217,2 тыс. (35,14 на 100 жителей). Из последних на долю государственного оператора электросвязи РУП "Белтелеком" приходится 2 508,1 тыс.

Услуги связи через сеть оптического доступа GPON получают 2 970,7 тыс. абонентов. По уровню проникновения оптического доступа в дом/квартиру на душу населения страна занимает одно из первых мест в Европе.

К сети IMS подключены 3 775 тыс. абонентов.

На 1 января 2024 года население Республики Беларусь по данным Национального статистического комитета составило 9 155 978 человек.

По информации Минсвязи Республики Беларусь

Россия

Уфа Республика
Башкортостан



РОССИЙСКИЙ НЕФТЕГАЗОХИМИЧЕСКИЙ ФОРУМ

32-я международная выставка
ГАЗ. НЕФТЬ. ТЕХНОЛОГИИ
21-24 мая 2024 года

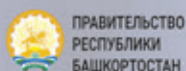
www.gntexpo.ru

+7 (347) 246-41-77 gasoil@bvkexpo.ru

[gazneftufa](https://t.me/gazneftufa) [gntexpo2024](https://vk.com/gntexpo2024)



ОРГАНИЗАТОРЫ



ПРАВИТЕЛЬСТВО
РЕСПУБЛИКИ
БАШКОРТОСТАН

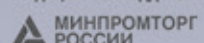


МИНИСТЕРСТВО ПРОМЫШЛЕННОСТИ,
ЭНЕРГЕТИКИ И ИННОВАЦИЙ
РЕСПУБЛИКИ БАШКОРТОСТАН



БАШКИРСКАЯ
ВЫСТАВОЧНАЯ
КОМПАНИЯ

ТРАДИЦИОННАЯ ПОДДЕРЖКА



МИНПРОМТОРГ
РОССИИ



МИНИСТЕРСТВО
ЭНЕРГЕТИКИ РФ

ТРАДИЦИОННОЕ СОДЕЙСТВИЕ



СОЮЗ
НЕФТЕГАЗОПРОМЫШЛЕННИКОВ
РОССИИ



АССОЦИАЦИЯ
НЕФТЕПЕРЕРАБОТЧИКОВ И НЕФТЕХИМИКОВ



СОЮЗ ПРОИЗВОДИТЕЛЕЙ
НЕФТЕГАЗОВОГО
ОБОРУДОВАНИЯ



Евразийская Ассоциация
природного газа



ЭНЕРГОИННОВАЦИЯ
АССОЦИАЦИЯ ИННОВАЦИОННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ В ЭНЕРГЕТИКЕ



Общероссийская
Ассоциация
Нефтегазовых
Компаний



АССОЦИАЦИЯ
ПРОИЗВОДИТЕЛЕЙ
НЕФТЕГАЗОВОГО
ОБОРУДОВАНИЯ

ИНФОРМАЦИОННАЯ ПОДДЕРЖКА



ТЕРРИТОРИЯ
НЕФТЕГАЗ

ЭКСПОЗИЦИЯ
НЕФТЬ ГАЗ



ИНФОРМАЦИОННО-АНАЛИТИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ ДЛЯ ПРОФИЦИОНАЛОВ
РЕГИОНАЛЬНАЯ ЭНЕРГЕТИКА
И ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ

ТЕХНИЧЕСКИЙ ПАРТНЕР



Media02
Полномочия, предоставляемые
компаниями



ТЕХНОСФЕРА
РЕКЛАМНО-ИЗДАТЕЛЬСКИЙ ЦЕНТР

100% ГАРАНТИЯ
ПОЛУЧЕНИЯ ВСЕХ НОМЕРОВ



Стоимость 2200 р. за номер
Периодичность: 10 номеров в год
www.electronics.ru



Стоимость 1450 р. за номер
Периодичность: 8 номеров в год
www.photonics.ru



Стоимость 1450 р. за номер
Периодичность: 6 номеров в год
www.j-analytics.ru

ПОДПИСКА НА ЖУРНАЛЫ

www.technosphera.ru



Стоимость 1300 р. за номер
Периодичность: 8 номеров в год
www.lastmile.ru



Стоимость 1300 р. за номер
Периодичность: 8 номеров в год
www.nanoindustry.ru



Стоимость 1800 р. за номер
Периодичность: 4 номера в год
www.stankoinstrument.ru