

*Россов Д.А.,
магистрант*

2 курс, Институт высоких технологий

*ФГБОУ ВО «Иркутский национальный исследовательский технический
университет»*

Россия, г. Иркутск

ИЗМЕРЕНИЯ НА СЕТЯХ ВОЛС ПО МЕТОДУ БРИЛЛЮЭНОВСКОЙ РЕФЛЕКТОМЕТРИИ BOTDR

***Аннотация:** В статье описан метод бриллюэновской рефлектометрии как метод ранней диагностики оптических линий передачи, рассмотрен принцип работы бриллюэновского рефлектометра. Показана эффективность бриллюэновского рефлектометра по сравнению с обычным оптическим импульсным рефлектометром. Своевременный и надежный контроль параметров оптического волокна позволяет повысить уровень надежности волоконно-оптических линий связи, сэкономить время на устранении неполадок и предоставить прогнозную информацию о существующих проблемных зонах оптических волокон с помощью рефлектометров BOTDR.*

***Ключевые слова:** оптическое волокно, тензометрия, рефлектометр, бриллюэновская рефлектометрия, вынужденное рассеяние Мандельштама-Бриллюэна, ранняя диагностика.*

***Abstract:** The article describes the method of Brillouin reflectometry as a method of early diagnosis of optical transmission lines, the principle of operation of the Brillouin reflectometer is considered. The efficiency of the Brillouin reflectometer in relation to conventional optical pulse reflectometers is shown. Timely and reliable monitoring of optical fiber parameters makes it possible to*

increase the level of reliability of fiber-optic communication lines, save time for on troubleshooting and provide forward-looking information of existing problem areas of optical fibers with BOTDR reflectometers.

Keywords: *optical fiber, strain gauge, reflectometer, Brillouin reflectometry, forced Mandelstam-Brillouin scattering, early diagnosis.*

В современном мире преобладающим типом высокоскоростных линий связи являются волоконно-оптические линии связи (ВОЛС). Инновационное развитие волоконно-оптической связи в настоящее время невозможно представить без устройств, способных контролировать параметры волоконно-оптической сети, обеспечивая надежность оптических линий путем прогнозирования на ранней стадии нарушения параметров оптического волокна (ОВ).

Своевременное обнаружение и устранение участков с измененной температурой и напряжением, с нарушениями «оптического тракта», с изгибами и микроизгибами, с несанкционированным доступом к волоконно-оптическому кабелю является важной задачей мониторинга и ранней диагностики волоконно-оптических линий связи [1, с. 88].

Механическое напряжение является основной причиной повреждения оптического волокна. Согласно экспериментальным данным, в случаях, когда относительное удлинение волокна не превышает 0,3%, это волокно может надежно функционировать в течение очень длительного времени - в течение 25 лет и более, тогда как если относительное удлинение превышает 0,6%, выход из строя может произойти в течение короткого периода эксплуатации (около одного года). В связи с этим наибольший интерес для ранней диагностики повреждений оптических волокон представляют тензометрические методы, позволяющие получить распределение натяжения волокон по кабельной трассе [2, с. 5].

Ухудшение прочностных характеристик волокна в кабеле вызвано повышенным натяжением, что в конечном итоге приводит к разрыву волокна. Небольшое натяжение волокна может привести к многократному сокращению срока службы волокна [3, с. 66]. Многие исследователи отмечают, что обычные оптические импульсные рефлектометры (OTDR) не способны определить опасное механическое натяжение волокна или измененную температуру, поскольку величина оптических потерь при возникновении напряжений в волокне, как правило, остается в пределах нормы до наступления необратимых изменений в волокне. Для решения этой проблемы были разработаны бриллюэновские рефлектометры (BOTDR - Brillouin Optical Time Domain Reflectometer). Они не только измеряют оптические свойства, но и, основываясь на них, позволяют прогнозировать состояние волокна.

Получение и анализ информации о повышенном напряжении оптического волокна следует осуществлять на всех этапах жизненного цикла волоконно-оптического кабеля. Например, во время эксплуатации такая необходимость вызвана возможным воздействием различных неблагоприятных факторов на кабель. Для подземных кабелей это может быть движение грунта, а для кабелей, подвешенных на опорах, - обледенение.

Целью данной работы является изучение метода бриллюэновской рефлектометрии в ранней диагностике волоконно-оптических линий передачи.

В связи с этой целью решается следующая задача: изучение функциональности метода бриллюэновской рефлектометрии применительно к диагностике оптических волокон.

Метод рефлектометрии Бриллюэна – это разновидность рефлектометрического метода для изучения оптических волокон. Его отличительной особенностью является использование явлений спонтанного и вынужденного рассеяния Мандельштама-Бриллюэна [4, с. 26].

Рассеяние Мандельштама-Бриллюэна происходит на движущихся неоднородностях, которые представляют собой гиперзвуковые волны - фононы. При температурах, превышающих абсолютный ноль, они всегда существуют в термодинамически равновесной среде [2, с. 5].

Вынужденное рассеяние Мандельштама-Бриллюэна является нелинейным оптическим эффектом и возникает, когда мощность оптического излучения превышает определенное пороговое значение.

Рефлектометр Бриллюэна (BOTDR) основан на принципе рассеяния Бриллюэна, он измеряет временные зависимости сдвига частоты обратного рассеяния Мандельштама-Бриллюэна относительно частоты зондирующего оптического излучения. Этот рефлектометр отличается большим динамическим диапазоном с удовлетворительной разрешающей способностью, а также относительно небольшими погрешностями измерений.

Листвин А.В. и Листвин В.Н. в своем труде [5, с. 101] описали принцип работы бриллюэновского рефлектометра (рис. 1).

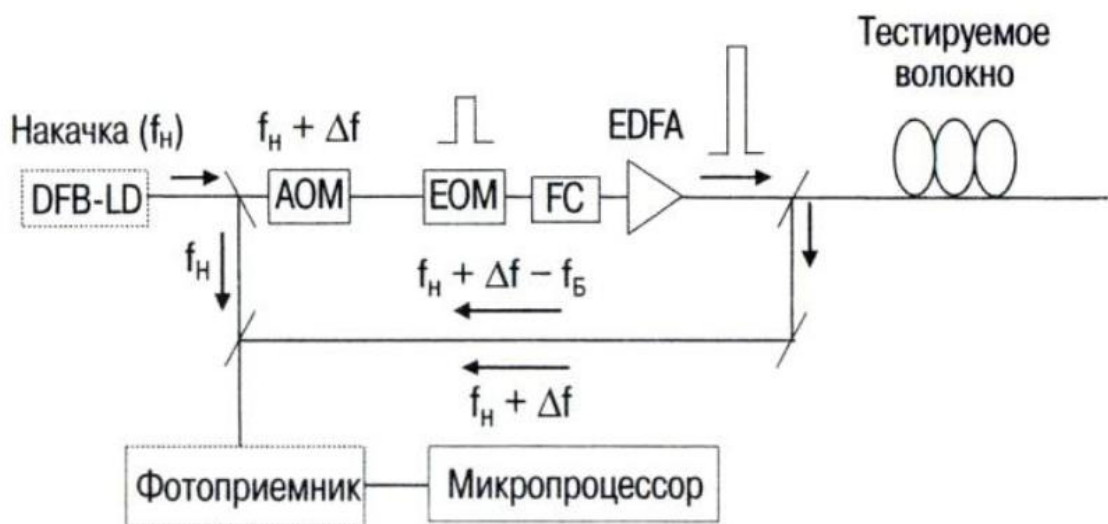


Рисунок 1. Оптическая схема бриллюэновского рефлектометра

Упрощенные схемы рефлектометров Бриллюэна представлены в работах Теселкина А.В. и Энеди И.И.

Лазер в таком устройстве генерирует излучение с частотой f , а преобразователь частоты оптического сигнала также используется в качестве амплитудного модулятора для формирования волновых пакетов. Сдвиг частоты происходит на величину Δf . Частота спектральной линии Стокса равна $f + \Delta f - \Delta f_B$. Если $\Delta f_B = \Delta f$, то она оказывается равной f , и сигнал, соответствующий указанной составляющей спектра, выделяется на фотоприемнике путем когерентного приема.

В результате измерения получается серия рефлектограмм для различных значений Δf , с последующей обработкой данных и их представлением в удобной форме трехмерной рефлектограммы. Такая рефлектограмма имеет третью ось – ось сдвига частоты (или напряжения) [6, с. 583].

Богачков И.В. и Горлов Н.И. [7, с. 75] экспериментально доказали преимущество бриллюэновского оптического рефлектометра перед обычными оптическими импульсными рефлектометрами для ранней диагностики оптических волокон. На участках оптических волокон с измененной температурой и натяжением они провели экспериментальные исследования с использованием обычных оптических импульсных рефлектометров и рефлектометров Бриллюэна. Результаты испытаний подтвердили превосходство метода бриллюэновской рефлектометрии для ранней диагностики и выявления «проблемных» участков волоконно-оптических линий связи.

Основываясь на известных исследованиях, можно сделать вывод, что метод рефлектометрии Бриллюэна позволяет проводить раннюю диагностику ОВ и устранять проблемы с ОВ на ранней стадии. Устранение негативных факторов способствует возвращению ВОЛС в рабочее состояние. Следует также подчеркнуть, что системы мониторинга с обычными OTDR не могут решить эту проблему. Кроме того, основным преимуществом бриллюэновских оптических импульсных рефлектометров (по сравнению с другими

устройствами для определения натяжения в ОВ) является то, что им достаточно иметь доступ только к одному концу ОВ.

В заключение следует отметить, что, несмотря на высокую стоимость устройств, рекомендуется включать BOTDR в систему мониторинга для тех организаций, которые заинтересованы в повышении надежности и долговечности волоконно-оптической линии связи, в раннем обнаружении областей с повышенной механической нагрузкой и с измененной температурой.

Использованные источники:

1. Богачков И.В. Обнаружение предаварийных участков оптических волокон с помощью метода бриллюэновской рефлектометрии // Динамика систем, механизмов и машин. 2018. Т. 6, № 4. С. 88–95. DOI: 10.25206/2310-9793-2018-6-4-88-95.
2. Теселкин А.В. Реализация метода бриллюэновской рефлектометрии. СибГУТИ, 2012. // Инфосфера. 2012. № 53. С. 5-7.
3. Черевань Д.Ю. Диагностика повреждений в волоконно-оптических линиях передач // Вестник магистратуры. 2019. № 3-2. С. 66-67.
4. Бельский А.С. Метод бриллюэновской рефлектометрии. // Вестник магистратуры. 2019. № 3-2. С. 26-29.
5. Листвин А.В., Листвин В.Н. Рефлектометрия оптических волокон – М.: ЛЕСАРарт, 2005. 208с.
6. Энеди И.И. Применение метода бриллюэновской рефлектометрии в системах мониторинга ВОЛС: Материалы Российской научно-технической конференции «Инновации и научно-техническое творчество молодежи» / СибГУТИ. - Новосибирск, 2019. - с. 581-584.
7. Богачков И.В., Горлов Н.И. Совместные испытания оптических импульсных рефлектометров различных видов для ранней диагностики и обнаружения «проблемных» участков в оптических волокнах // Вестник СибГУТИ. 2017. Вып. 1 (37). С. 75–82.