

## КОНТРОЛЬ ПРОЧНОСТИ ОПТИЧЕСКИХ ВОЛОКОН В ЗАДАЧАХ ПРОГНОЗА РЕСУРСА ОПТИЧЕСКИХ КАБЕЛЕЙ НА ВОЛС

*В.А. Бурдин, А.В. Бурдин, М.В. Дашков, А.О. Нижгородов*

Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики  
443010, г. Самара, ул. Л. Толстого, д. 23

**Аннотация.** Рассматриваются методы контроля прочности оптических волокон кабелей на действующих кабельных линиях и их применение в задачах прогноза остаточного срока службы оптических кабелей.

**Ключевые слова:** контроль прочности, волоконно-оптические линии связи.

### Введение

Декларированный производителями ресурс оптических кабелей волоконно-оптических линий связи, построенных в конце прошлого века, либо уже полностью выработан, либо приближается к критической отметке. Естественно, у оператора возникает вопрос об остаточном сроке службы оптического кабеля на линии. В соответствии с рекомендациями международного союза электросвязи срок службы оптического кабеля определяют как срок службы оптического волокна в кабеле [1].

Методики прогноза срока службы оптического волокна хорошо известны и подтверждены многочисленными экспериментами. Согласно рекомендациям, срок службы оптического волокна рассчитывается по формуле, предложенной Ю. Митцунага с соавторами [2]. Исходными данными для прогноза являются значения приложенных к оптическому волокну напряжений и исходная прочность оптического волокна.

На сегодняшний день методы неразрушающего контроля напряжений в оптических волокнах кабелей хорошо известны. На рынке представлены средства измерений для их реализации. Это различные варианты импульсных оптических рефлектометров. Так называемые бриллюэновские импульсные оптические рефлектометры (BOTDR) используют для контроля растягивающих нагрузок [3]. Стандартные рефлектометры обратного релеевского рассеяния (OTDR), обеспечивающие измерения не менее чем на двух длинах волн, включая 1625 нм, поляризационные и маломодовые оптические рефлектометры применяют для измерений распределений избыточной длины оптического волокна в кабеле и, соответственно, напряжений на изгибах оптических волокон кабельной линии [4-6]. Вместе с тем, неразрушающих методов контроля прочности оптических волокон в кабеле пока нет. В рекомендациях [1] предложено опираться на результаты испытаний оптических волокон до изготовления кабеля. Это вполне приемлемо для прогнозов ресурса кабельного изделия на выходе из производства. Но при прогнозах остаточного срока службы оптического кабеля на линии это приводит к большой неопределенности [7].

В данной статье рассмотрены два подхода к решению проблемы прогноза ресурса оптического кабеля на линии: первый вариант, реализация которого возможна уже сегодня, более

трудоемкий, он базируется на испытаниях образцов оптического кабеля, изъятых с кабельной линии; второй – более перспективный, связан с разработкой акустооптических методов неразрушающего контроля прочности оптического волокна.

## **1. Контроль прочности оптических волокон по результатам испытаний образцов, изъятых с кабельной линии**

Очевидно, что объем выборки образцов кабеля с действующей кабельной линии для испытаний методами разрушающего контроля ограничен. Отсюда возникает задача отбора строительных длин на кабельных участках, с которых целесообразно брать образцы. Накопленный опыт применения стратегий прогнозирующего обслуживания кабельных линий [3-7] позволил предложить алгоритм по определению оценок прочности оптических волокон кабельной линии:

- сбор данных технической эксплуатации кабельной линии по участкам;
- обработка данных технической эксплуатации и отбор строительных длин на кабельном участке, вероятность повреждения которых больше по сравнению с остальными;
- извлечение образцов оптического кабеля, отобранных строительных длин на кабельной линии и их подготовка к испытаниям;
- обследование образцов оптического кабеля, изъятых с кабельной линии;
- испытание оптических волокон с применением 2-точечного метода, испытаний на разрыв, стрип-тест.

## **2. Метод неразрушающего контроля прочности оптических волокон в кабеле на основе использования тестируемого оптического волокна в качестве акустического сенсора и измерения параметров нелинейной акустической эмиссии**

Авторы предлагают метод неразрушающего контроля прочности оптических волокон в кабеле, базирующийся на использовании тестируемого оптического волокна в качестве акустического сенсора и измерениях параметров нелинейной акустической эмиссии [7]. Метод заключается в сравнении нормированной энергии сигналов нелинейной акустической эмиссии тестируемого оптического волокна и эталонного оптического волокна, прочность которого известна. Искомую прочность тестируемого оптического волокна определяют по формуле:

$$S_T = S_E \cdot \left( \frac{A_{T0}^2}{A_{E0}^2} \cdot \frac{\sqrt{\sum_{i=2}^N A_{Ei}^2}}{\sqrt{\sum_{i=2}^N A_{Ti}^2}} \right)^{\frac{1}{4}}, \quad (4)$$

где  $S_E, S_T$  – оценки прочности образцового и контролируемого оптического волокна, соответственно;

$A_{E0}, A_{T0}$  – амплитуды регистрируемого сигнала на частоте источника акустического воздействия для образцового и контролируемого оптического волокна, соответственно;

$A_{Ei}, A_{Ti}$  – амплитуды регистрируемого сигнала на  $i$ -й гармонике частоты источника акустического воздействия для образцового и контролируемого оптического волокна, соответственно;

$N$  – число гармоник частоты источника акустического воздействия, которые можно выделить на спектральной характеристике регистрируемого сигнала на фоне помех.

На рис. 1 в качестве примера представлены нормированные спектральные характеристики сигналов нелинейной акустической эмиссии образцов оптического волокна с нанесенным дефектом на его оболочку и без дефекта.

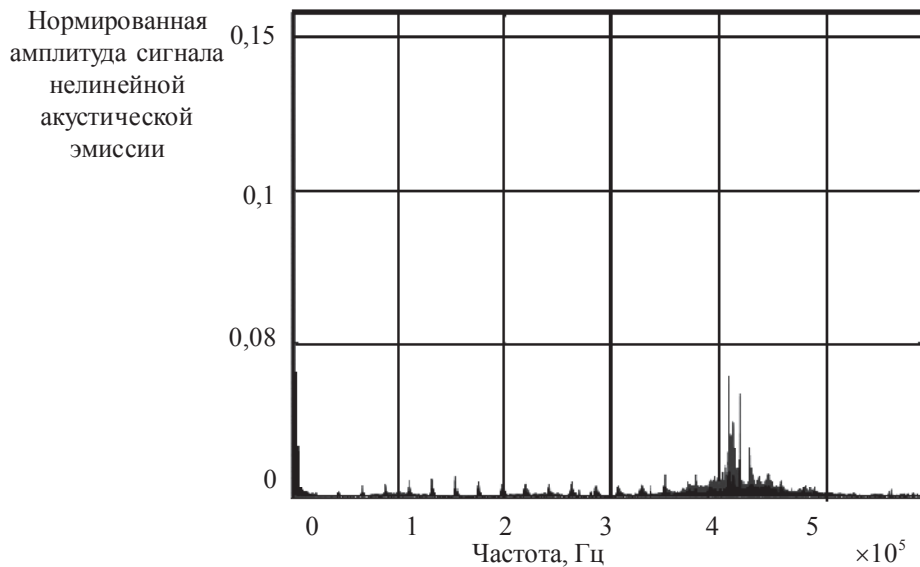


Рис. 1. Нормированные спектральные характеристики сигналов нелинейной акустической эмиссии образцов: — с нанесенным дефектом; — без дефекта

На рис. 2 приведены фотографии в двух плоскостях участка образца волокна с нанесенным поверхностным дефектом.



Рис. 2. Фотографии участка ОВ с нанесенным дефектом оболочки

В таблице приведены типичные примеры относительных оценок прочности оптических волокон, полученные по результатам измерения спектральных характеристик сигналов нелинейной акустической эмиссии и 2-точечным методом для образцов кабеля линий, построенных в 1996 и 1998 годах, соответственно. Оценки нормированы относи-

тельно образца оптического волокна, выпущенного в 2020 году. Там же приведены значения относительной погрешности оценок предложенным методом. При расчетах погрешностей в качестве действительной величины принимали результаты измерений 2-точечным методом.

Оценки прочности тестируемых образцов оптических волокон

Отношение	Метод		Относительная погрешность, %
	предложенный	2-точечный	
$S_{2020}/S_{1996}$	1,30	1,27	1,36
$S_{2020}/S_{1998}$	1,10	1,11	-0,90

### Заключение

Рассмотрены варианты решения проблемы контроля прочности оптических волокон кабельных линий для прогноза ресурса оптического кабеля. Контроль прочности волокна разрушающими методами отличается большей трудоемкостью, но может быть реализован уже в настоящее время. Предложенный неразрушающий метод более перспективен, однако его применение требует проведения дополнительных исследований.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Recommendation ITU-T Supplement 59 (02/2018). Guidance on optical fibre and cable reliability // International Telecommunication Union: [сайт]. 2021. URL: [https://www.itu.int/rec/dologin\\_pub.asp?lang=e&id=T-REC-G.Sup59-201802-I!!PDF-E&type=items](https://www.itu.int/rec/dologin_pub.asp?lang=e&id=T-REC-G.Sup59-201802-I!!PDF-E&type=items) (дата обращения: 04.05.2021).
2. *Mitsunaga, Y., Katsuyama, Y. Ishida* Reliability assurance for long-length optical fibre based on proof testing // *Electronics Letters*. – 1981. – Vol. 17 (16). – Pp. 567-568.
3. *Kurashima, T., Horiguchi T., Izumita H. et al.* Brillouin optical-fiber time domain reflectometry // *IEICE Transactions on Communications*. 1993. – Vol. E76. – B (4). – Pp. 382-390.
4. *Anderson, D.R., Johnson, L., Bell, F.G.* Troubleshooting optical-fiber networks. Understanding and using your optical time-domain reflectometer /Academic Press, 2004. – 437 p.
5. *Бурдин, В.А., Бурдин, А.В.* Рефлектометрические методы измерений распределений избыточной длины оптических волокон в модульных трубках кабеля / *Фотоника*. – 2017. – № 4(64). – С. 96-105.
6. *Okamoto, K., Nakamura, A., Koshikiya, Y. et al.* Highly Sensitive Monitoring of Progressive Microbending Loss Using 1-mm-band Mode-detection OTDR // *Proceedings of the 65th IWCS Conference*. – 2016. – Pp. 228-233.
7. *Андреев, В., Бурдин, В., Нижгородов, А.* Сценарии прогноза срока службы оптического волокна в КЛС // *Первая миля*. – 2020. – № 4. – С. 34-43.

## CHECK OF THE STRENGTH OF OPTICAL FIBERS IN THE PROBLEMS OF FORECASTING THE LIFETIME OF OPTICAL CABLES ON A FIBER-OPTIC LINKS

*V.A. Burdin, A.V. Bourdine, M.V. Dashkov, A.O. Nizhgorodov*

Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics  
23, L. Tolstogo Str., 443010, Samara, Russia

**Abstract.** The article discusses methods for checking the strength of optical fibers of cables on existing cable lines and their application in predicting the residual lifetime of optical cables.

**Keywords:** strength control, fiber-optic communication lines.

Дата поступления статьи в редакцию 07.05.2021