



# ПОКАЗАТЕЛИ НАДЁЖНОСТИ ОПТИЧЕСКИХ КАБЕЛЕЙ. СРОК СОХРАНЯЕМОСТИ И МЕТОД ЕГО ОЦЕНКИ

RELIABILITY INDICATORS OF OPTICAL CABLES.  
SHELF LIFE AND METHOD OF ITS ASSESSMENT

**I.A. Ovchinnikova**, Dr. Sc. (Engineering), Director of Research Area – Division Manager, JSC VNIIEK, full member of the Academy of Electrotechnical Sciences of the Russian Federation;

**P.A. Semenov**, Department Manager, JSC VNIIEK;

**A.S. Khakhichev**, Testing Engineer, JSC VNIIEK;

**V.A. Ovchinnikov**, student of Moscow Technical University of Communications and Informatics (MTUCI)

**И.А. Овчинникова**, д-р техн. наук, директор научного направления ОАО «ВНИИКП», действительный член Академии электротехнических наук РФ;

**П.А. Семёнов**, заведующий отделом ОАО «ВНИИКП»;

**А.С. Хахичев**, инженер-испытатель ОАО «ВНИИКП»;

**В.А. Овчинников**, студент МТУСИ

**Аннотация.** В статье приведены основные термины и определения, относящиеся к надёжности изделий, определены понятия отказа и предельного состояния оптического волокна и оптического кабеля, установлены показатели надёжности для оптических кабелей стационарной прокладки. Указаны причины невозможности использования известных методов оценки надёжности изделий для оценки надёжности оптических кабелей. Приведены результаты исследований влияния некоторых факторов на деформацию оптических волокон, расположенных в оптических кабелях. Описан метод определения деформации оптического волокна в оптическом кабеле с помощью контроля изменения частоты вынужденного рассеяния Мандельштама-Бриллюэна и метод оценки сохраняемости оптического кабеля.

**Ключевые слова:** оптический кабель, оптическое волокно, деформация, надёжность, срок сохраняемости, оценка, механические напряжения, вынужденное рассеяние Мандельштама-Бриллюэна

**Abstract.** The article presents the main terms and definitions related to the reliability of products. The definitions of failure and limit state of optical fiber and optical cable are given; the reliability indicators for optical cables intended for fixed installation are established. The reasons for the impossibility of using common methods of assessing the reliability of products for the assessment of optical cable reliability are indicated.

The results of studies of the influence of some factors on the deformation of optical fibers located in optical cables are presented. A method for determining the deformation of OF in OC by monitoring the change in the frequency of the Mandelstam-Brillouin forced scattering and a method for assessing the optical cable shelf life are described.

**Key words:** optical cable, optical fiber, deformation, reliability, shelf life, assessment, mechanical stresses, Mandelstam-Brillouin forced scattering

*Материал поступил в редакцию 21.11.2023*

*Автор, ответственный за переписку: Овчинникова И.А.*

*E-mail: telecom.cables@vniikp.ru*

Оценка возможности обеспечения надёжной работы в течение всего срока службы является необходимой гарантией качества при создании любого изделия. Однако, прежде чем оценить надёжность, надо определиться с тем, что же это такое. Как показывает

практика, в этом понятии многие видят какой-то свой смысл, в то время как ещё со времён СССР существуют соответствующие основополагающие стандарты по надёжности: ГОСТ 27.002 [1] и ГОСТ 27.003 [2]. Поэтому кратко напомним основные терминологические

статьи из [1], которые имеют отношение к кабелям и оптическим волокнам (ОВ).

#### Основные понятия надёжности:

**БЕЗОТКАЗНОСТЬ.** Свойство объекта непрерывно сохранять способность выполнять требуемые функции в течение некоторого времени или наработки в заданных режимах и условиях применения.

**ДОЛГОВЕЧНОСТЬ.** Свойство объекта, заключающееся в его способности выполнять требуемые функции в заданных режимах и условиях использования, технического обслуживания и ремонта до достижения предельного состояния.

**СОХРАНЯЕМОСТЬ.** Свойство объекта сохранять способность к выполнению требуемых функций после хранения и (или) транспортирования при заданных сроках и условиях хранения и (или) транспортирования.

#### Временные понятия надёжности:

**СРОК СЛУЖБЫ.** Календарная продолжительность эксплуатации от начала эксплуатации объекта или её возобновления после капитального ремонта до момента достижения предельного состояния.

**СРОК СОХРАНЯЕМОСТИ.** Календарная продолжительность хранения и/или транспортирования объекта, в течение которой он сохраняет работоспособное состояние.

**НАРАБОТКА ДО ОТКАЗА.** Нарботка объекта от начала его эксплуатации или от момента его восстановления до отказа

**РЕСУРС.** Суммарная наработка объекта от начала его эксплуатации или её возобновления после ремонта до момента достижения предельного состояния.

#### Общие понятия:

**ПРЕДЕЛЬНОЕ СОСТОЯНИЕ.** Состояние объекта, в котором его дальнейшая эксплуатация недопустима или нецелесообразна, либо восстановление его работоспособного состояния невозможно или нецелесообразно.

**ОТКАЗ.** Событие, заключающееся в нарушении работоспособного состояния объекта.

**ПОКАЗАТЕЛЬ НАДЁЖНОСТИ.** Количественная характеристика одного или нескольких свойств, составляющих надёжность объекта.

При проведении оценки надёжности, оценивается именно количественная характеристика, то есть показатель надёжности.

Выбор показателей надёжности проводится в соответствии с ГОСТ 27.003. Количество показателей должно быть минимальным с точки зрения затрат на их проверку, подтверждение и оценку, но при этом их

число должно максимально характеризовать надёжность объекта на всех этапах его жизненного цикла.

ОВ и оптический кабель (ОК) (в основном) в соответствии с ГОСТ 27.003 могут быть классифицированы как объекты длительного непрерывного применения с предшествующим периодом ожидания применения и хранения, которые по характеру основных процессов, определяющих переход в предельное состояние, относятся к стареющим изделиям. Для таких изделий ГОСТ 27.003 рекомендует устанавливать следующие показатели надёжности:

- показатель безотказности – гамма-процентная  $T_\gamma$  или средняя наработка до отказа  $T_{cp}$ ;
- показатель долговечности – гамма-процентный срок службы  $T_{сл,\gamma}$  или средний срок службы  $T_{сл,ср}$ ;
- показатель сохраняемости – гамма-процентный срок сохраняемости  $T_{с,\gamma}$  или средний срок сохраняемости  $T_{с,ср}$ ;
- вероятность безотказного срабатывания  $P_o$  (это частный случай, например, для кабелей дистанционно-управления и некоторых кабелей-тросов).

Для проведения оценки необходимо определиться с тем, что следует понимать под отказом и предельным состоянием ОВ и оптического кабеля. Поскольку основной функцией ОК и ОВ является передача информационного сигнала, то их отказом следует считать обратимое увеличение коэффициента затухания сигнала сверх нормированных значений, а предельным состоянием – необратимое увеличение затухания в ОВ и нарушение их оптической целостности.

Общепринятые методы прогнозирования безотказности на основе вероятностно-статистической теории, описанные в большинстве стандартов на изделия, когда объём выборки и длительность испытаний определяются элементарно-часами и числом зафиксированных ранее отказов, удобно использовать при оценке штучных изделий с непродолжительной наработкой. Но они неприменимы к кабелям и ОВ, так как требуется накопление большого количества статистического материала при очень больших затратах на изготовление даже одного исследуемого образца (для достоверного контроля основного параметра-критерия годности необходима длина не менее 1 км). В то время, как требования к наработке до отказа и сроку службы этих изделий очень высоки (не менее 250 000 часов и 25–30 лет, соответственно), а в связи с всё время изменяющимися требованиями и постоянным совершенствованием конструкций и материалов, статистические данные по образцам, заложенным на испытания более 15–20 лет назад, не дадут возможности применить их для оценки современных ОК и ОВ.

При этом от такого показателя надёжности как безотказность в случае с ОК и ОВ можно отказаться

без ущерба для объективности оценки. Поскольку достаточно хорошо известны причины, приводящие к возникновению обратимого отказа, то есть приращению затухания с последующим возвращением его к нормальным значениям, – это определённые внешние воздействия. В отсутствие недопустимых внешних воздействий и при правильно спроектированной конструкции ОК таких отказов возникать не должно.

Необратимое же увеличение затухания и тем более нарушение оптической целостности уже являются предельным состоянием, а потому относятся к долговечности.

Поэтому для ОК стационарной прокладки оцениваемыми показателями надёжности являются срок службы и срок сохраняемости.

Срок сохраняемости изделий обычно оценивают ускоренными методами, по результатам сохраняемости аналогов в естественных условиях (в прямом режиме) или расчётно-экспериментальными методами.

Однако оценка сохраняемости ОК на основе данных о сохраняемости аналогов практически невозможна по вышеприведённым причинам: требования к сроку сохраняемости высоки (25–30 лет), конструкции и материалы, а главное ОВ, всё время совершенствуются, поэтому ОК, заложенные на хранение в конце XX века, не могут считаться аналогами современных ОК.

Для проведения ускоренных испытаний необходимо определить коэффициент ускорения. Для многих изделий ускоренный режим обеспечивают путём повышения температуры, а продолжительность ускоренных испытаний определяют с помощью энергии активации наименее стойкого полимерного материала конструкции или наиболее важного с функциональной точки зрения. Такой метод подходит для электрических кабелей, где параметрами (критериями) годности являются, в первую очередь, электрические и физико-механические свойства изоляции и защитного шланга, которые действительно существенно изменяются в процессе теплового старения. Но оптический кабель более сложен и разнороден с этой точки зрения. Ведь его основным параметром является коэффициент затухания, а он зависит от состояния ОВ, которое состоит из кварцевого световода, по которому распространяется оптический сигнал, и полимерного защитного покрытия, которое может не только осуществлять функцию защиты световода, но и в случае изменения своих свойств при воздействии внешних факторов оказывать на него негативное воздействие, создавая механические напряжения, которые в свою очередь могут привести к нарушению оптической целостности волокна. При этом исследования показывают [3, 4], что повышенная температура не столь критична для ОК, как отрицательные температуры (ниже минус 30 °С). Коэффициент затухания может не изме-

няться даже после нескольких тысяч часов воздействия предельной повышенной температуры. Следует отметить, что в научной литературе и раньше были описаны случаи, когда коэффициент затухания в ОВ не изменялся, а потом резко происходило нарушение оптической целостности.

В то же время известно, что основными причинами перехода ОВ в предельное состояние являются влага и механические напряжения [5–12]. При этом можно пренебречь влиянием влаги, так как современные конструкции ОК в достаточной мере защищают ОВ от неё [13–15], тем более её влияние можно не рассматривать для ОК, находящегося в условиях хранения. А вот механические напряжения могут воздействовать на ОВ на всех стадиях его жизненного цикла: в технологическом процессе изготовления кабеля, между технологическими операциями, в процессе хранения (в результате воздействия элементов конструкции, натяжения на барабанах, давления соседних витков друг на друга и т.п.) и транспортировки, и тем более в процессе эксплуатации (которая в данной статье не рассматривается).

Из ранее проведённых фирмами-производителями ОВ исследований известно, что есть зависимость между деформацией ОВ и его сроком службы. Например, существуют следующие данные фирмы Corning (США) о зависимости срока службы ОВ от его относительного удлинения в процессе эксплуатации: 0,2 % допустимое удлинение, при котором вероятность обрыва в течение 40 лет (на 1000 км) близка к нулю; при длительной нагрузке, приводящей к удлинению волокна до 0,3 % вероятность обрыва составляет 0,284; удлинение 0,6 % увеличивает вероятность обрыва до 0,787 в течение нескольких часов [16].

Характер зависимости срока службы волокна от его натяжения проиллюстрирован на графике (рис. 1), построенном по данным японской фирмы Fujikura для

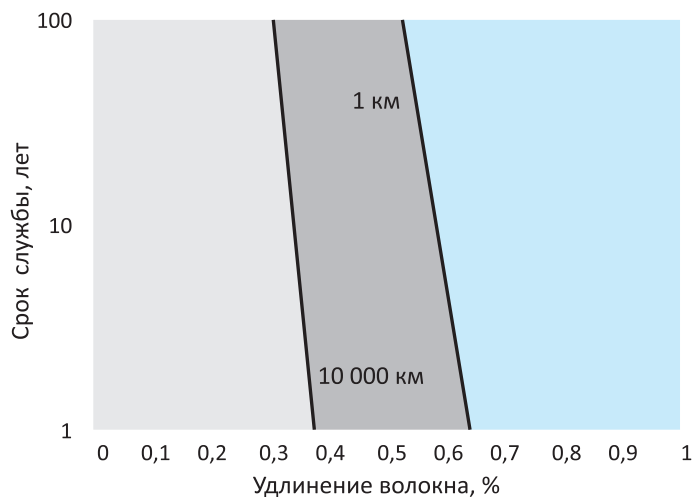


Рис. 1. Зависимость срока службы оптического кабеля от удлинения оптического волокна [17]

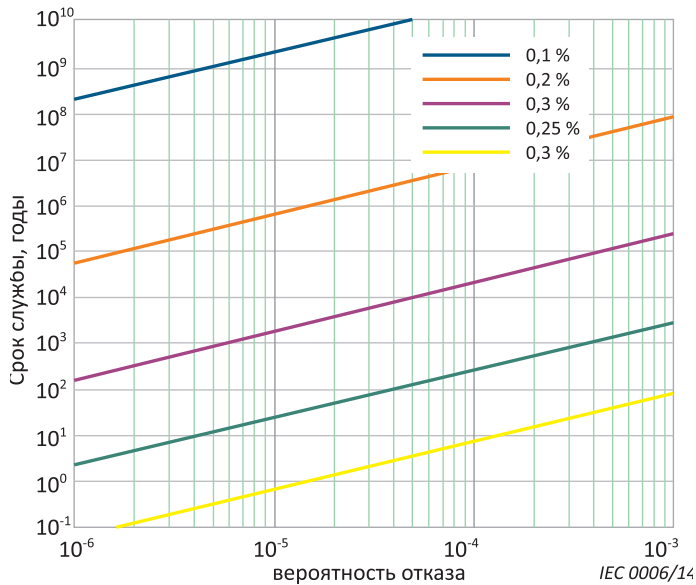


Рис. 2. Зависимость срока службы и вероятности отказа оптического волокна от его деформации

стандартного телекоммуникационного ОВ, где натяжение выражено в единицах продольного удлинения [17].

В Техническом отчёте Международной электротехнической комиссии [18] данные о взаимосвязи деформации ОВ, срока его службы и вероятности отказа систематизированы в график, представленный на рис. 2.

Исходя из приведённой информации, можно считать, что при наличии деформации ОВ менее 0,25 % можно гарантировать его надёжную работу не менее 30 лет.

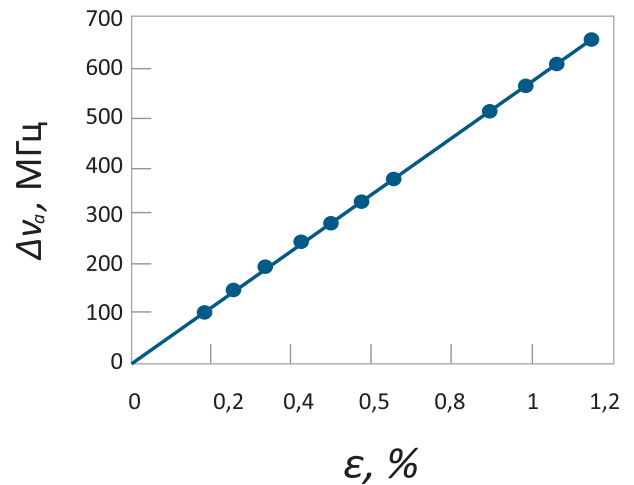


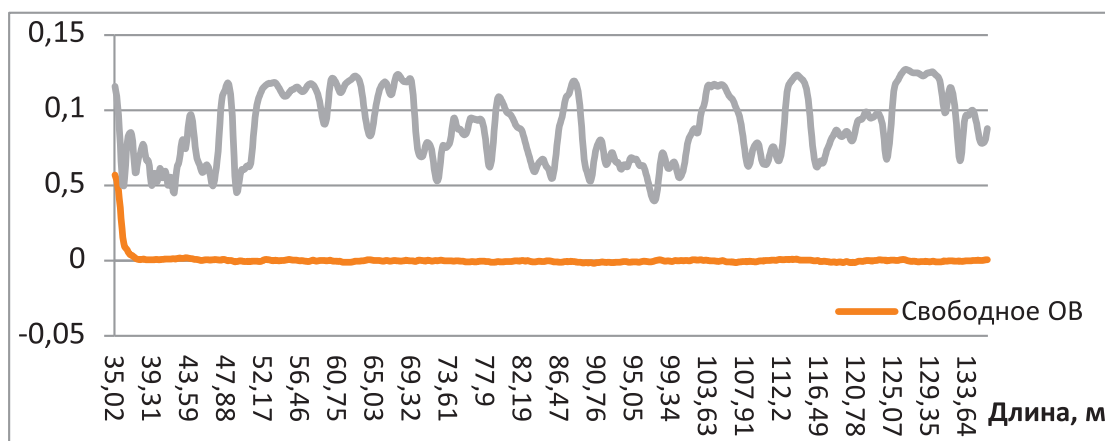
Рис. 3. Взаимосвязь частоты вынужденного рассеяния Мандельштама-Бриллюэна в волокне и его деформации

Таким образом, можно оценивать надёжность ОК по данным о деформации ОВ в нём. Тем более, что известна зависимость между частотой вынужденного рассеяния Мандельштама-Бриллюэна (ВРМБ) и деформацией ОВ (рис. 3) [19], что позволяет нам, определяя частоту ВРМБ в ОВ, расположенных в исследуемых ОК, контролировать деформацию этих ОВ.

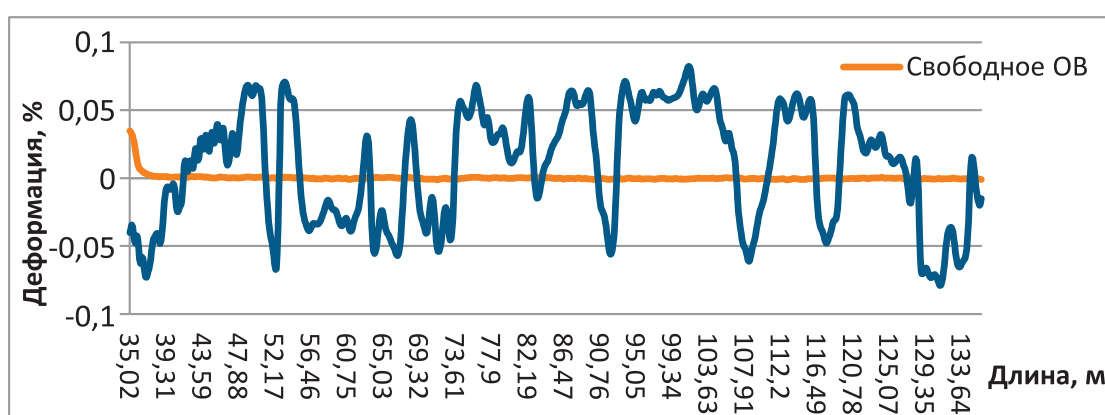
Примеры изменения деформации ОВ вследствие различных причин, которая определялась с помощью контроля частоты ВРМБ, приведены на рис. 4–7.



Рис. 4. Влияние материала покрытия на частоту вынужденного рассеяния Мандельштама-Бриллюэна в волокне: зелёная кривая – исходное волокно; оранжевая кривая – ОВ в покрытии из полиакрилата; серая кривая – ОВ в покрытии из кремнийорганической резины



а)



б)

Рис. 5. Влияние технологии изготовления плотного вторичного защитного покрытия на деформацию ОВ:  
 а – УФ-отверждение с большей мощностью УФ-излучения;  
 б – УФ-отверждение с меньшей мощностью УФ-излучения

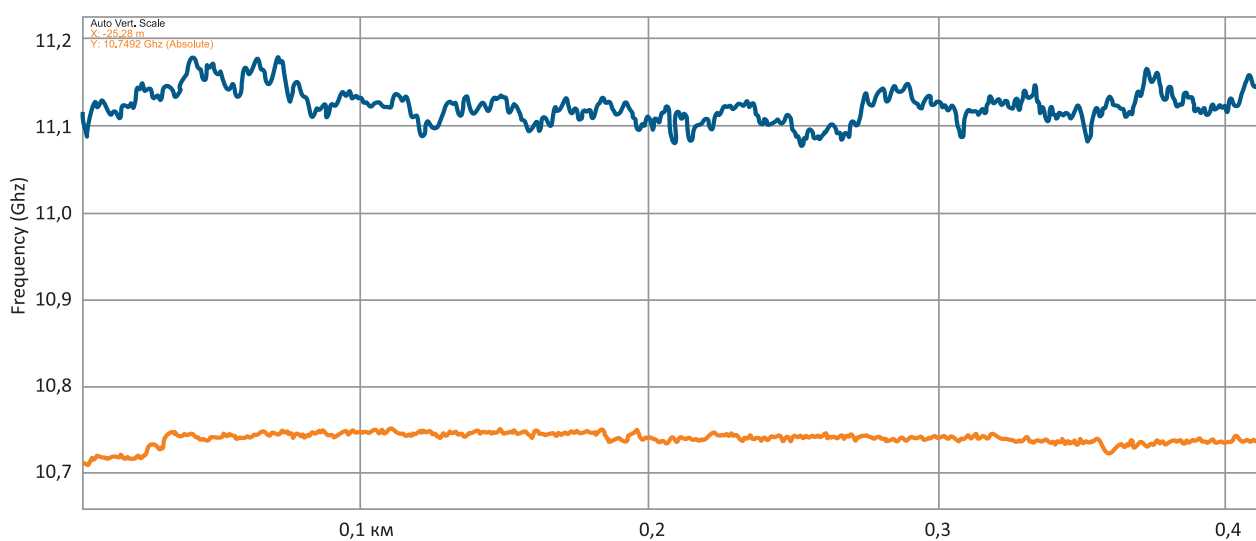


Рис. 6. Влияние операции скрутки волокна в плотном вторичном защитном покрытии (с 1 ОВ) вокруг тонкого центрального элемента на деформацию ОВ: оранжевый (нижний график) – до скрутки; серый (верхний) – после скрутки – увеличение частоты вынужденного рассеяния Манделъштата-Бриллюэна на 400 МГц соответствует удлинению более 0,6 % (при допустимом натяжении для срока службы более 25 лет – не более 0,25 %)

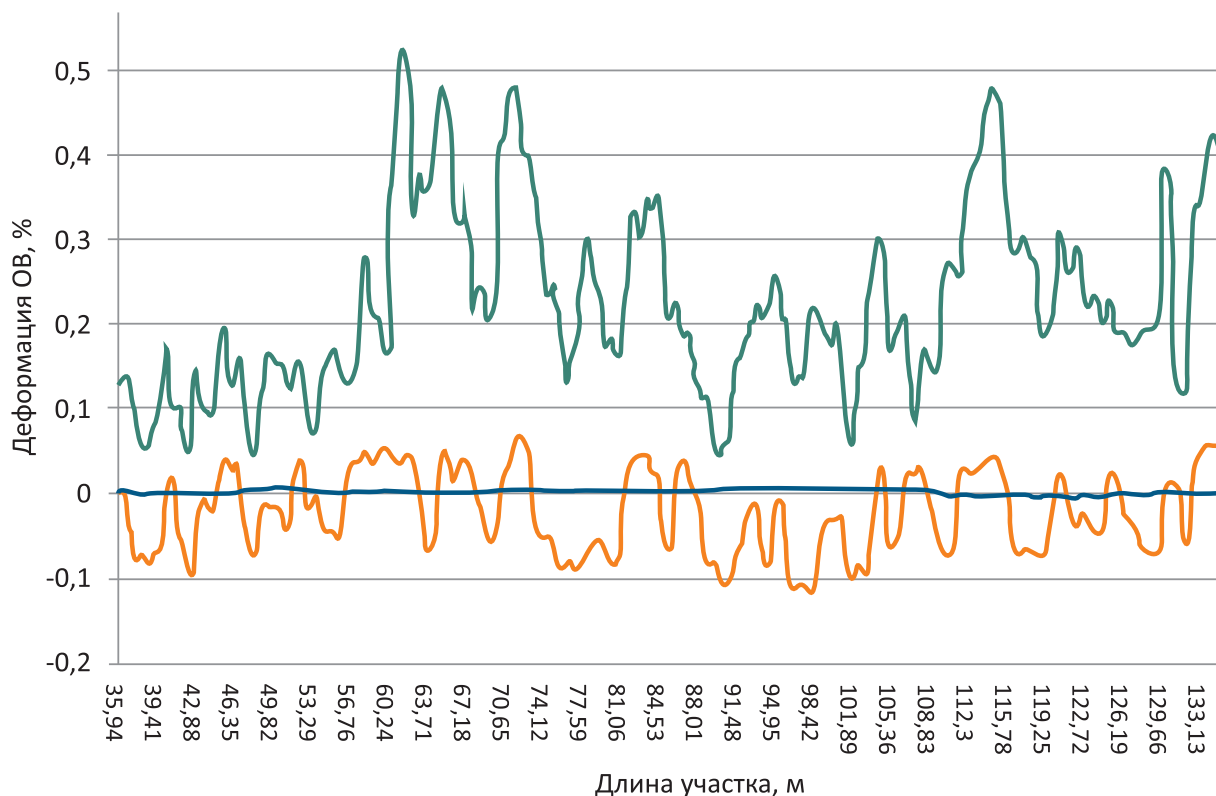


Рис. 7. Пример влияния конструкции и способов хранения (намотки) на деформацию ОВ:

- свободное ОВ;
- ОВ в буферном покрытии, упрочненном арамидными нитями, в виде свободно уложенной бухты;
- ОВ в буферном покрытии, упрочненном арамидными нитями, в намотанном на катушку виде

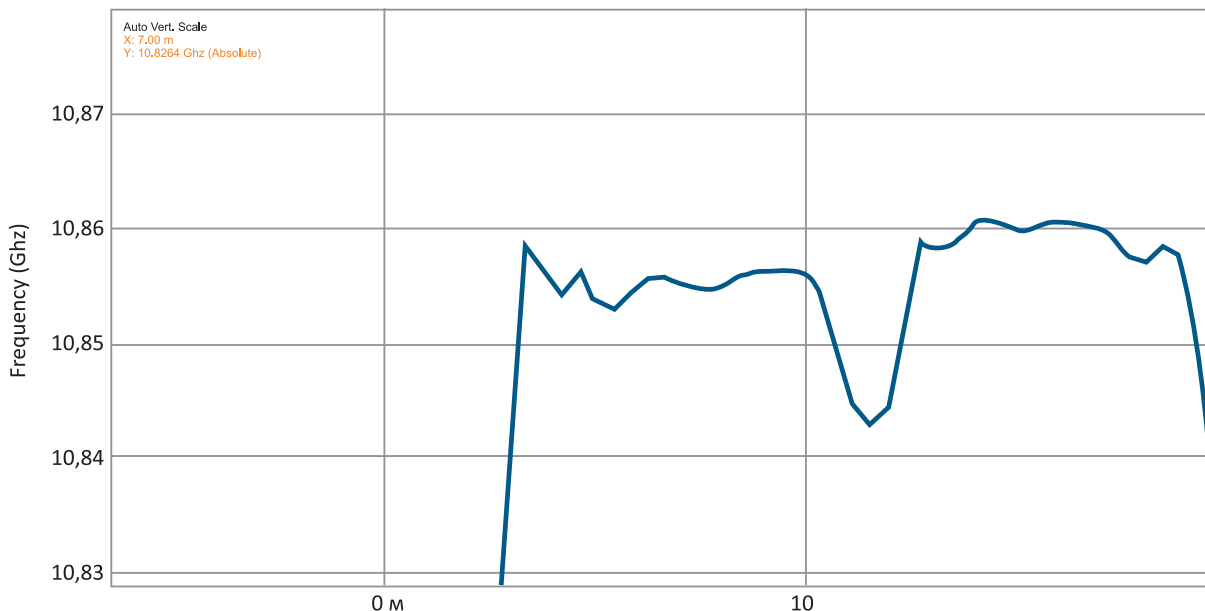


Рис. 8. Влияние изгиба ОВ в буферном покрытии на его деформацию, определённую с помощью контроля частоты вынужденного рассеяния Манделштама-Бриллюэна

В [20] показано, что изгиб ОВ представляет даже большую опасность, чем растягивающая нагрузка, поскольку приводит как к растяжению, так и сжатию его отдельных участков. При изгибе стандартного ОВ с радиусом, составляющем менее 25 мм, растяжение

его поверхности превышает 0,26 %. При этом воздействие растягивающей нагрузки чаще всего ограничено во времени, а в изогнутом виде ОК или ОВ в нём могут находиться в течение всего срока службы или срока сохраняемости. Наглядно влияние изгиба на ме-

ханические напряжения в ОВ может продемонстрировать рис. 8, где ОВ в плотном буферном покрытии из УФ-отверждаемого акрилата изогнули на 180 °с диаметром изгиба 0,5 м (10 метров образца лежали по прямой, потом его изогнули, далее опять по прямой). При этом начальная частота ВРМБ в ОВ в буферном покрытии составляла 10,854 ГГц, однократный изгиб с диаметром 0,5 м привёл к деформации ОВ  $\pm 0,05\%$ .

Таким же образом, определяя деформацию ОВ, расположенных в ОК, хранящихся на поставочной таре, можно оценить их сохраняемость.

Способ оценки срока сохраняемости ОК путём определения деформации ОВ в нём выглядит следующим образом [21].

Образец оптического волокна из той же партии, из которой изготовлен исследуемый ОК, сматывают с транспортной катушки в бухту со свободной укладкой, когда начальное натяжение  $\varepsilon_0=0$ . Длина оптического волокна должна быть равна длине исследуемого ОК и составлять не менее 20 м. Предпочтительно бухта волокна должна иметь средний диаметр не менее 30 см. Образец ОВ должен быть выдержан в нормальных климатических условиях с известной температурой  $T_{нкв}$  не менее двух часов, после чего его подключают к анализатору вынужденного рассеяния Мандельштама-Бриллюэна и измеряют среднюю по длине упомянутого образца оптического волокна частоту ВРМБ.

Образец ОК, в конструкцию которого входит ОВ из той же партии, что и ранее испытанный образец ОВ, имеющий длину аналогичную длине испытанного ОВ, наматывают на барабан, применяющийся для поставки данного типа кабеля, или сматывают в бухту (если поставка подобных ОК осуществляется в бухтах) с неким натяжением  $\varepsilon$  (аналогичным тем условиям, в которых осуществляют хранение данного ОК) и выдерживают не менее 24 часов в нормальных климатических условиях с температурой  $T_{нкв}$  (той же, в которой было выдержано испытанное ОВ). Далее образец испытываемого кабеля подключают к анализатору ВРМБ и измеряют среднюю по длине упомянутого образца частоту ВРМБ. Деформация ОВ в ОК определяется из разницы частоты ВРМБ, определённой для свободного ОВ и для ОВ в ОК, с учётом зависимости рис. 3. В случае наличия неоднородностей деформации по длине в измеряемых ОВ контролируемого ОК необходимо ориентироваться на худшее (максимальное по модулю) значение деформации.

Величина деформации оптических волокон в кабеле будет зависеть от его конструкции, технологии изготовления, диаметра бухты или шейки барабана и силы намотки.

Чем меньше деформация ОВ, тем больше срок сохраняемости. То же можно отнести и к сроку службы, но при эксплуатации добавляются дополнительные

факторы, влияющие на деформацию ОВ, которые также необходимо учитывать при оценке срока службы, а потому методика оценки срока службы более сложна.

#### Список источников

1. ГОСТ 27.002–2015. Надёжность в технике. Термины и определения.  
URL: <http://www.docs.cntd.ru> (дата обращения: 14.11.2023).
2. ГОСТ 27.003–2016. Надёжность в технике. Состав и общие правила задания требований по надёжности.  
URL: <http://www.docs.cntd.ru> (дата обращения: 14.11.2023).
3. **Овчинникова И.А.** Исследование длительного влияния повышенной температуры на оптические кабели // Фотон-экспресс. 2021. № 6 (174). С. 218–219.
4. **Овчинникова И.А., Семёнов П.А., Корякин А.Г., Геча Э.Я., Шишова Н.А., Овчинникова В.А., Овчинников В.А.** Исследование влияния длительного воздействия повышенных и пониженных температур на оптические кабели и волокна // Кабели и провода. 2022. № 3. С. 26–37.
5. **Эванс А.Г., Лэнгдон Т.Г.** Конструкционная керамика. – М.: Металлургия, 1980. – 115 с.
6. **Журков С.Н.** Проблема прочности твёрдых тел // Вестник АН СССР. 1957. № 11. С. 78–82
7. **Регель Б.Р., Слуцкер А.И., Томашевский Э.Е.** Кинетическая природа прочности твёрдых тел. – М.: Наука, 1974. – 128 с.
8. **Богатырёв В.А., Бубнов М.М., Вечканов Н.Н., Гурьянов А.Н., Дианов Е.М., Семёнов С.Л.** Влияние воды на прочность волоконных световодов // Квантовая электроника. 1984. № 7. С. 1467–1468.
9. **Берштейн В.А., Никитин В.В., Степанов В.А., Шамрай Л.М.** Временная зависимость прочности гетерогенных материалов // ФТТ. 1973. № 11. С. 3260–3265.
10. **Фрейденталь А.М.** Разрушение. – М.: Мир, 1975. – 746 с.
11. **Берштейн В.А., Гликман С.В.** Временная зависимость прочности гетерогенных материалов // ФТТ, 1963. Т. 5, № 8. С. 2270–2277.
12. **Дяченко А.А., Шушпанов О.Е., Соколов А.В.** Гидролитическая модель разрушения кварцевого стекла и световодов // Радиотехника. 2006. № 5. С. 37–49.
13. **Семёнова (Овчинникова) И.А., Ларин Ю.Т.** Вопросы создания водонепроницаемых оптических кабелей // Кабели и провода. 2000. № 3–4. С. 49–53.
14. **Овчинникова И.А., Васильев Е.Б., Геча Э.Я., Корякин А.Г., Терехов Е.Д., Хахичев А.С.** Исследование работоспособности оптических микрокабелей в условиях длительного воздействия морской воды // Кабели и провода. 2023. № 1 (399). С. 16–22.

15. **Овчинникова И.А., Семёнов П.А.** Результаты исследования оптических кабелей с точки зрения оценки их надёжности // Фотон-экспресс. 2023. № 6 (190). С. 38–39.

16. Mechanical reliability: applied stress design guidelines. – Corning. WP5053. 2002.

17. **Григорьев В.В., Митрорев А.К., Ляшенко О.В., Наумов А.К.** Результаты испытаний бриллюэновского рефлектометра // Фотон-экспресс. 2005. № 5 (45). С. 36

18. IEC TR 62048. Technical Report. Optical fibres – Reliability – Power law theory.

URL: <http://www.webstore.iec.ch> (дата обращения: 16.11.2023).

19. **Талипов А.А.** Оптико-электронные полигармонические системы зондирования и определения характеристик контура усиления мандельштама-бриллюэна для измерения температуры и растяжения/сжатия в одномодовом оптическом волокне: дис. ... канд. техн. наук. – Казань, 2014. – 156 с.

20. **Длютров О.В.** Исследование механического состояния оптического волокна неразрушающими методами контроля относительного удлинения в процессе производства оптических кабелей: дис. ... канд. техн. наук. – М., 2004. – 187 с.

21. **Овчинникова И.А., Семёнов П.А., Тарасов Д.А., Игнатилов И.С.** Способ определения срока сохраняемости оптического кабеля // Патент на изобретение № 2735910 от 07.02.2020 с приоритетом от 07.02.2020. 10.11.2020. Бюл. № 31.

#### List of References

1. GOST 27.002–2015. Dependability in technics. Terms and definitions.

URL: <http://www.docs.cntd.ru> (date of application: 14.11.2023).

2. GOST 27.003–2016. Dependability in technics. Industrial product dependability. Contents and general rules for specifying dependability requirements.

URL: <http://www.docs.cntd.ru> (date of application: 14.11.2023).

3. **Ovchinnikova I.A.** Investigation of the long-term effect of elevated temperature on optical cables // Photon-express. 2021. No 6 (174). P. 218–219.

4. **Ovchinnikova I.A., Semenov P.A., Koryakin A.G., Gecha E.Ya., Shishova N.A., Ovchinnikov V.A.** Investigation of the effect of prolonged exposure to elevated and low temperatures on optical cables and fibers // Cables and Wires. 2022. No 3. P. 26–37.

5. **Evans A.G., Langdon T.G.** Structural ceramics. – М.: Metallurgy, 1980. – 115 p.

6. **Zhurkov S.N.** Solids Strength Problem // Bulletin of the USSR Academy of Sciences. 1957. No 11. P. 78–82.

7. **Regel B.R., Slutsker A.I., Tomashevsky E.E.** The kinetic nature of the strength of solids. – М.: Nauka, 1974. – 128 p.

8. **Bogatyrev V.A., Bubnov M.M., Vechkanov N.N., Guryanov A.N., Dianov E.M., Semenov S.L.** The influence of water on the strength of fiber light guides // Quantum Electronics. 1984. No 7. P. 1467–1468.

9. **Berstein V.A., Nikitin V.V., Stepanov V.A., Shamray L.M.** Hydrolytic mechanism of glass destruction under load // FTT. 1973. No 11. P. 3260–3265.

10. **Freudenthal A.M.** Destruction. – М.: Mir, 1975. – 746 p.

11. **Berstein V.A., Glickman S.V.** Time dependence of the strength of heterogeneous materials // FTT, 1963. Vol. 5, No 8. P. 2270–2277.

12. **Dyachenko A.A., Shushpanov O.E., Sokolov A.V.** Hydrolytic model of destruction of quartz glass and light guides // Radio Engineering. 2006. No 5. P. 37–49.

13. **Semenova (Ovchinnikova) I.A., Larin Y.T.** Issues of creating waterproof optical cables // Cables and Wires. 2000. No 3–4. P. 49–53.

14. **Ovchinnikova I.A., Vasiliev E.B., Gecha E.Ya., Koryakin A.G., Terekhov E.D., Khakhichev A.S.** Investigation of functional capability of micro-cables under the conditions of prolonged exposure to sea water // Cables and Wires. 2023. No 1 (309). P. 16–22.

15. **Ovchinnikova I.A., Semenov P.A.** The results of the investigation of optical cables from the point of view of assessing their reliability // Photon-express. 2023. No 6 (190). P. 38–39.

16. Mechanical reliability: applied stress design guidelines. – Corning. WP5053. 2002.

17. **Grigoriev V.V., Mitrorev A.K., Lyashenko O.V., Naumov A.K.** Test results of the Brillouin reflectometer // Photon-express. 2005. No 5 (45). P. 36

18. IEC TR 62048. Technical Report. Optical fibres – Reliability – Power law theory.

URL: <http://www.webstore.iec.ch> (date of application: 16.11.2023).

19. **Talipov A.A.** Optoelectronic polyharmonic systems for sensing and determining the characteristics of the Mandelstam-Brillouin gain loop for measuring temperature and stretching/compression in a single-mode optical fiber: thesis of Cand. Sc (Engineering). – Kazan, 2014. – 156 p.

20. **Dlyutrov O.V.** Investigation of the mechanical state of optical fiber by non-destructive methods of elongation control in the production of optical cables: thesis of Cand. Sc (Engineering). – М., 2004. – 187 p.

21. **Ovchinnikova I.A., Semenov P.A., Tarasov D.A., Ignatkov I.S.** Method for determining the shelf life of an optical cable // Patent for invention No 2735910 dated 07.02.2020 with priority dated 07.02.2020. 10.11.2020. Bull. No 31. ■