

Федеральное агентство связи РФ  
Федеральное государственное образовательное бюджетное  
учреждение высшего профессионального образования  
«Поволжский государственный университет  
телекоммуникаций и информатики»

Кафедра «Линии связи и измерения в технике связи»

Методическая разработка  
к лабораторной работе  
**«Измерение затухания волокон  
оптического кабеля методом обрыва»**

Составители: д.т.н., проф. Бурдин В.А.,  
к.т.н., доц. Никулина Т.Г.

Рецензент: к.т.н., доц. Трошин А.В.

Самара  
2012

**ББК 621.391.63**

**Д 21**

**Измерение затухания волокон оптического кабеля методом обрыва:** учебно-методическая разработка / В.А. Бурдин, Т.Г. Никулина. Самара: ИНУЛ ПГУТИ. 2012 – 18 с.

**Рецензент:** к.т.н. А.В. Трошин

В учебно-методической разработке приводится систематизированный материал по средствам и методике измерения затухания волокон оптического кабеля методом обрыва.

*Рекомендовано Методическим советом ФГО-  
БУ ВПО ПГУТИ в качестве учебно-  
методического пособия для бакалавров и ма-  
гистров, обучающихся по направлениям  
200600, 210400, 210401, 210404, 210406,  
200700м*

*Протокол заседания Методического совета ПГУТИ  
№ 20 от 15.01.2012 г.*

## **Цель работы**

Изучение факторов, вызывающих ослабление оптического излучения в оптических волокнах (ОВ) оптических кабелей (ОК), освоение техники измерения затухания волокон ОК методом обрыва, также знакомство с технологическими процессами входного контроля ОК.

## **Литература**

1. Волоконно-оптическая техника. Современное состояние и новые перспективы / под ред. С. А. Дмитриева, Н. Н. Слепова – М.: Техносфера, 2010. – 608 с.

2. Направляющие системы электросвязи: Учебник для вузов. В 2-х томах. Том 1 – Теория передачи и влияния / В.А. Андреев, Э.Л. Портнов, Л.Н. Кочановский; под ред. В.А. Андреева. – М.: Горячая линия – Телеком, 2011. – 424 с.

3. Гроднев И.И. Волоконно-оптические линии связи. – М.: Радио и связь, 1990. – 224 с.

4. Иоргачев Д.В., Бондаренко О.В. Волоконно-оптические кабели и линии связи – М.: Эко-Трендз, 2002. – 238 с.

5. Андреев В.А., Андреев Р.В. и др. Технология строительства ВОЛП. Оптические кабели и волокна. – Самара: «СРТТЦ ПГУТИ», 2011. – 370 с.

6. Руководство по строительству линейных сооружений магистральных и внутризональных оптических линий связи. Документ утвержден концерном «Связьстрой» 11.06.1993.

7. Дмитриев А.Л. Оптические системы передачи информации / Учебное пособие. – СПб.:СПбГИТМО, 2007. – 96 с.

8. Руководство по эксплуатации линейно-кабельных сооружений местных сетей связи. Документ утвержден: Госкомсвязи РФ 05.06.1998.

## **Подготовка к работе**

1. Ознакомиться с инструкцией по технике безопасности.  
2. Изучить причины вызывающие ослабление оптического излучения в ОВ.

3. Изучить структурную схему и принципы измерения затухания волокон ОК методом обрыва.

4. Изучить порядок выполнения лабораторной работы.
5. Подготовить бланки протоколов измерений.

### **Контрольные вопросы**

1. Каковы причины затухания оптического излучения в ОВ и ОК?
2. Какими методами можно выполнить измерение затухания ОВ?
3. Зарисуйте и поясните ход спектральной характеристики затухания ОВ.
4. Назовите факторы, влияющие на точность измерений затухания методом обрыва.
5. Какие операции включает в себя технологический процесс входного контроля ОК?
6. Каков порядок выполнения измерений затухания методом обрыва?
7. Какие средства измерений могут применяться для реализации метода обрыва?

### **Техника безопасности при работе с использованием когерентных лазерных источников излучения**

При выполнении лабораторных работ, связанных с использованием когерентных лазерных источников излучения, необходимо соблюдать следующие правила техники безопасности:

1. Не смотреть в выходной порт источника и на торцы коннекторов патч-кордов или оптических адаптеров.
2. Контроль качества оптического коннектора или адаптера допускается только при отсутствии в волокне излучения.
3. Для определения активности оптического волокна рекомендуется использовать измеритель оптической мощности или специальный индикатор излучения.

**Внимание!** Излучение, используемое в телекоммуникационных системных и измерительных приборах, невозможно обнаружить визуально.



## **Техника безопасности при работе с оптическим волокном**

1. На рабочем столе должны находиться только те инструменты и материалы, которые необходимы для выполнения работы. Перед началом выполнения лабораторной работы необходимо убрать со стола все личные вещи (сумки, тетради и т.д.).

2. Перед началом работы с ОВ изучить методику выполнения скола.

3. Все работы с ОВ выполнять над рабочим столом.

4. Осколки ОВ утилизировать в специальные контейнеры, выданные лаборантом.

5. В случае если осколок ОВ упал за пределы контейнера (например, на поверхность стола) необходимо удалить его при помощи ленты 88Т или пинцета. Лента после этого также утилизируется в контейнер. Не допускается убирать упавший осколок ОВ голыми руками.

6. В процессе выполнения лабораторной работы запрещается тереть глаза руками.

7. В случае попадания ОВ под кожу немедленно сообщить об этом преподавателю. Не допускается самостоятельное удаление волокна.

8. После окончания выполнения лабораторной работы внимательно осмотреть одежду и рабочее место на предмет наличия осколков ОВ. При необходимости удалить осколки волокна при помощи ленты 88Т или пинцета.

9. Вымыть руки с мылом для удаления возможных незамеченных осколков ОВ с рук.

## Материалы, инструменты и оборудование для выполнения работы

1. Безворсовые салфетки



2. Спирт в дозаторе



3. Стриппер Miller



4. Ручка-скальватель



5. Источник оптического излучения FOD 2112



6. Измеритель оптической мощности FOD 1024



7. Катушка исследуемого ОВ, оконцованная с одной стороны пигтэйлом



8. Механический соединитель или устройство оперативного подключения (УОП) ОВ



УОП



Механический соединитель

## Порядок выполнения работы

1. Подключите оконцованную с одной стороны пигтэйлом катушку с измеряемым ОВ к источнику оптического излучения в соответствии со схемой рис.2.

1.1. При подключении ОВ к источнику оптического излучения предварительно протрите оптический коннектор пигтэйла безворсовой салфеткой, смоченной небольшим количеством изопропилового спирта.

1.2. Для подключения разъема типа FC/PC совместите ключ на коннекторе с пазом на оптическом адаптере, зафиксируйте круглой накидной гайкой. **Не прикладывайте чрезмерных усилий!**



Рис. 1. Этапы подключения разъемов типа FC/PC



Рис. 2. Схема подключения ОВ к источнику излучения

2. Подключите механический соединитель или УОП к измерителю оптической мощности в соответствии со схемой рис.3.



Рис. 3. Схема подключения механического соединителя к источнику излучения

3. Произведите скол ОВ на неоконцованном конце измеряемой катушки с ОВ (порядок выполнения скола описан в приложении 1).

4. Подключите неоконцованный конец ОВ к механическому соединителю или УОП в соответствии со схемой рис.4.

5. Выполните измерение выходной мощности на выходе длинного отрезка ОВ (катушка ОВ)  $P_{\text{вых}}$  на заданной длине волны (измерения выполняются для двух длин волн 1550 нм и 1310 нм).

5.1. Включите источник излучения и выберите требуемую длину волны излучения (1550 нм или 1310 нм).

5.2. Включите измеритель оптической мощности и выберите ту же длину волны (1550 нм или 1310 нм) нажатием на клавишу SET  $\lambda$ .

5.3. Прогрейте источник и приемник излучения в течение 5-10 мин.

5.4. Запишите показание на дисплее измерителя оптической мощности ( $P_{\text{вых}}$ , дБ).



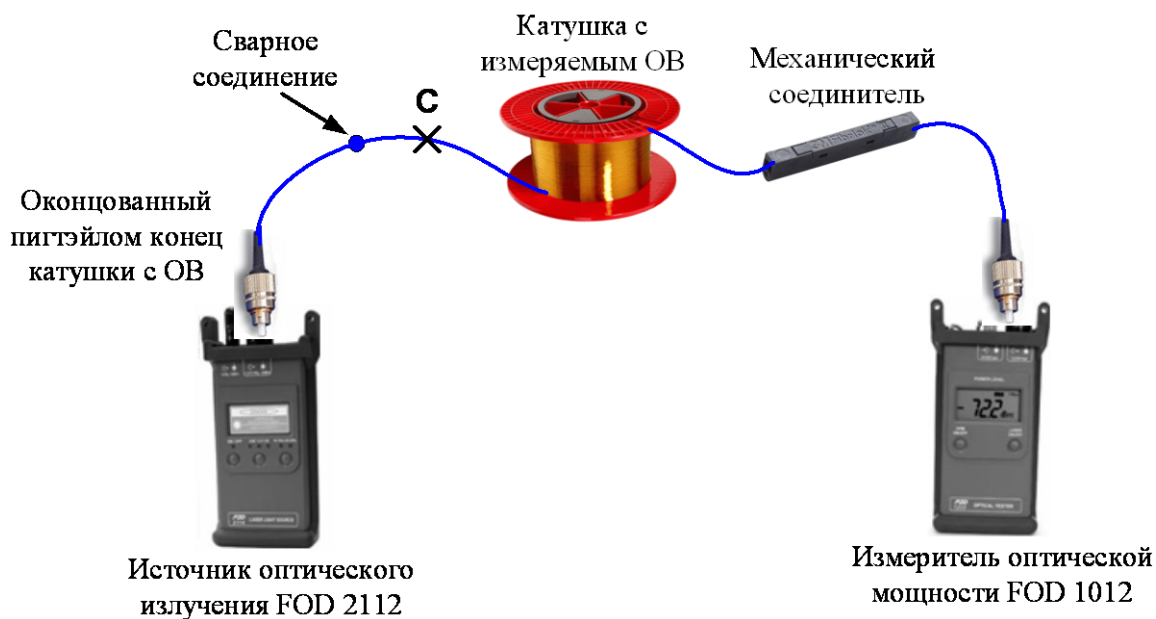


Рис. 4. Схема измерения затухания на выходе “длинного отрезка” ОБ

5.5. Измерение  $P_{\text{вых}}$  повторите 3 раза, каждый раз делая новый скол на конце волокна. При этом стабильность результатов измерений должна быть в пределах  $\pm 0,1$  дБ. В случае, когда имеется существенное (более 5 %) отклонение результата измерений от других измерений этой же серии, необходимо отбросить такой результат и повторить измерение.

5.6. Усредните результаты измерений, рассчитав  $\bar{P}_{\text{вых}}$  по формуле:  $\bar{P}_{\text{вых}} = (\sum_i P_{\text{вых}i}) / n$ . Здесь  $n$  - число измерений;  $P_{\text{вых}i}$  - значение мощности источника излучения при  $i$ -том измерении.

6. Оборвите ОБ в точке С (рис. 4), оставив за местом сварки кусок волокна длиной 1 м.

7. Произведите скол на оборванном конце волокна.

8. Подключите сколотый конец волокна к механическому соединителю или УОП в соответствии со схемой рис.5.

8. Выполните измерение выходной мощности на выходе короткого отрезка ОБ  $P_{\text{вх}}$  на заданной длине волны (измерения выполняются для двух длин волн 1550 нм и 1310 нм).

8.1. Измерения выполняются в соответствии с п. 5.1 - 5.4.

8.2. Измерения  $P_{\text{вх}}$  повторите три раза, каждый раз делая новый скол на конце волокна.



Рис. 5. Схема измерения затухания на выходе “короткого отрезка” ОВ

8.3. Усредните результаты измерений, рассчитав  $\bar{P}_{\text{вх}}$  по формуле:  $\bar{P}_{\text{вх}} = (\sum_i P_{\text{вх}i})/n$ . Здесь  $n$  - число измерений;  $P_{\text{вх}i}$  - значение мощности источника излучения при  $i$ -том измерении.

9. Рассчитайте затухание ОВ по формуле:  $\alpha = (\bar{P}_{\text{вх}} - \bar{P}_{\text{вых}})/L$  (дБ/км), где  $L$  длина измеренного длинного отрезка ОВ (задается преподавателем).

10. Результаты измерений занесите в табл. 1.

Табл. 1. Результаты измерений

Длина волны $\lambda$ , нм	$\bar{P}_{\text{вых}}$ , дБ	$\bar{P}_{\text{вх}}$ , дБ	$\alpha$ , дБ/км	Затухание ОВ по паспорту, дБ/км
1550				
1310				

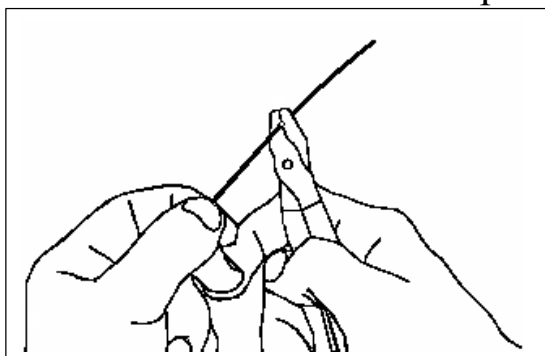
11. Полученные значения затухания ОВ сравните с паспортными данными на ОВ (паспорт на ОВ выдается преподавателем). Сделайте выводы о пригодности ОВ к эксплуатации.

### Содержание отчета

Цель работы, схемы измерения затухания волокон ОК методом обрыва, заполненная табл. 1, выводы по работе.

### Приложение 1. Порядок выполнения скола ОВ

1. Уложите волокно в зазор между лезвиями стриппера.



2. Установите стриппер под углом около 45 градусов к поверхности волокна так, чтобы при этом, закрыв инструмент, не изогнуть волокно.

3. Закройте стриппер, аккуратно сжимая ручки инструмента.

#### **Примечание.**

*Усилие, с которым нужно сжимать ручки стриппера, должно быть достаточно большим, чтобы удалить покрытие полностью, но при этом не превышать степени, при которой волокно может быть повреждено или сломано. Чтобы почувствовать необходимые для данного конкретного волокна усилие сжатия и угол наклона стриппера сделайте несколько пробных попыток, удаляя покрытие с конца волокна на длине 3 – 6 мм.*

4. Медленно и плавно тяните стриппер прямо вдоль волокна к его концу, пока покрытие не будет удалено. Не допускайте при этом изгибов волокна. Сжимайте ручки стриппера с постоянным усилием в течение всей процедуры удаления покрытия.

5. Тщательно протрите волокно смоченной спиртом безворсовой салфеткой.



6. Возьмите волокно, зажав его между большим и указательным пальцем, не допуская его изгиба.

7. Лезвием инструмента, легко коснувшись поверхности оболочки, нанесите насечку. При этом нельзя

давить на волокно.

8. Отложите инструмент и не отпуская волокно свободной рукой слегка изогните волокно в зоне, где была нанесена насечка. Изгиб волокна не должен превышать  $45^{\circ}$ .

9. Если скол не удался, обломите волокно и повторите операции по подготовке волокна на новом участке. Произведите скол на новом участке.

## **Приложение 2. Физические причины ослабления сигнала в ОК**

Затухание излучения в ОК обусловлено внутренними (собственными) потерями мощности в ОВ  $\alpha_c$  и внешними (дополнительными, кабельными) потерями  $\alpha_k$ , которые возникают в процессе сборки волокон в кабель (в основном обусловлены микро- и макроизгибами ОВ в кабеле).

*Собственные потери* мощности в ОВ обусловлены инфракрасным поглощением, ультрафиолетовым поглощением, релеевским рассеянием, поглощением за счет примесей (наличия паров воды ОН<sup>+</sup>, ионов переходных металлов (воннадий, хром, магний, железо, кобальт, никель) и конструктивно-технологическими факторами – отклонением конструктивных параметров ОВ и т.п.

Инфракрасное и ультрафиолетовое поглощение обусловлено атомными и электронными резонансами. Хотя эти резонансные частоты лежат далеко от диапазона оптических частот, используемого в технике связи, но они вызывают столь сильное поглощение, что хвосты их полос поглощения захватывают и интересующую нас область при малом уровне потерь.

*Инфракрасное поглощение* обусловлено резонансами атомов в кристаллическое решетке.

*Ультрафиолетовое поглощение* обусловлено электронными резонансами. Оно пренебрежимо мало по сравнению с релеевским рассеянием.

*Релеевское рассеяние* обусловлено флуктуациями показателя преломления в небольших относительно длины волны интервалах, возникающими из-за беспорядочности молекулярной структуры материала волокна. Определенная доля энергии рассеивается на неоднородностях, имеющих размеры, сравнимые с длиной волны излучение. Затухание за счет релеевского рассеяния пропорционально  $1/\lambda^4$ .

*Поглощение на примесях гидроксогрупп* (пары воды) обусловлено колебаниями ионов  $\text{OH}^-$ , связанных с  $\text{SiO}_2$ . Это поглощение наблюдается на длине волны 2770 нм (длина волны основных колебаний) и вблизи длин волн второй – 1380 нм и третьей – 950 нм гармоник.

На рис. 5, приведена спектральная зависимость потерь в кварцевом волокне. Как следует из графика, на спектральной характеристике на длинах волн 0,85 мкм, 1,3 мкм и 1,55 мкм имеются окна прозрачности - области длин волн с минимальными потерями.

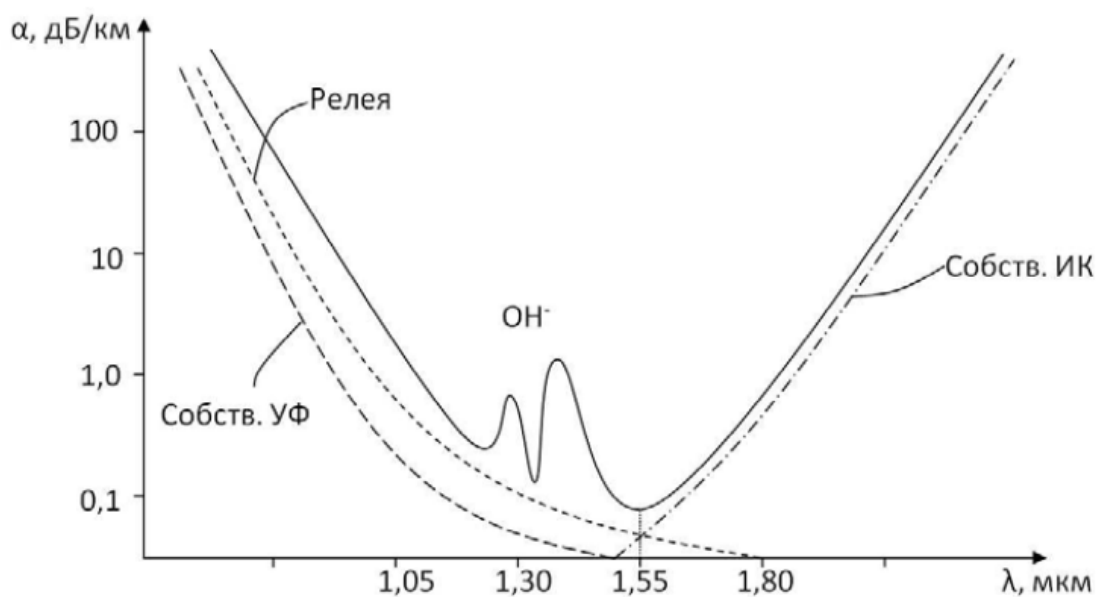


Рис.5. Спектральная зависимость потерь в кварцевом волокне [7]

*Дополнительные потери* вызваны следующими причинами: загрязнением волокон в процессе их вытяжки; изменением размеров поперечного сечения вдоль волокна; неровностью границы сердцевина - оболочка, а также сглаживанием этой границы во время вытяжки волокна диффузионными процессами. Основной вклад вносят потери вследствие микро- и макроизгибов, возникающих при изготовлении ОК.

### **Приложение 3. Измерение затухания волокон ОК методом обрыва**

Измерение затухания волокон ОК производится на всех этапах строительства ВОЛС: при входном контроле, после прокладки, при сдаче смонтированного регенерационного участка. Основным методом измерения затухания волокон ОК, не армированных оптическими соединителями, согласно [6], является метод «обрыва», дополнительным - метод «обратного рассеяния». Однако в настоящее время при выполнении входного контроля используется только метод обратного рассеяния, в то время как метод обрыва из-за необходимости повреждать ОВ в процессе измерения, а также из-за необходимости подваривать измеряемые ОВ к пигтейлу (патчкорд оконцованный коннектором только с одной стороны), данный метод измерения практически не используется. Тем не менее, метод обрыва является более точным [1] методом измерения затухания.

Метод обрыва основан на сравнении значений мощности оптического излучения, измеренной на выходе длинного волокна и на выходе короткого отрезка волокна (1-2 м), образованного отсечением части длины ОВ со стороны источника. При этом необходимым условием измерения для многомодовых волокон является постоянство мощности и неизменность модового состава вводимого в волокно оптического излучения. Если это условие соблюдается, то будут измерены затухания отдельных участков, которые линейно суммируются и при неизменном распределении мощности называются распределениями в установившемся состоянии.

Для обеспечения таких условий ввода существуют два метода, использующие фильтр мод и оптическую систему, которые при грамотном применении дают близкие результаты. В первом случае в качестве фильтра мод используется либо волокно того же типа, но достаточно большой длины, порядка 1 км, либо несколько (3-5) витков ОВ, намотанного с небольшим натяжением на стержень диаметром 15-40 мм и длиной около 20 мм, выбираемым в зависимости от типа волокна и его оболочки. Во втором случае световым потоком, формируемым по законам геометрической оптики, заполняют 70% диаметра сердечника и столько же цифровой апертуры измеряемого волокна. Это максимальное распределение мощности, при котором отсутствует ввод мощности в быстро затухающие моды. Так, для градиентного многомодового волокна 50/125 мкм с числовой апертурой 0,2 такие условия ввода соответствуют диаметру однородного пятна 26 мкм при числовой апертуре 0,11.

Не менее важным является выбор источника излучения. Он должен быть высоко стабилен, как по интенсивности, так и длине волны излучения, а ширина спектра (измеренная на уровне 50% интенсивности) должна быть уже спектральной характеристики затухания волокна.

Другим важным условием является обеспечение вывода мод оболочки, так, чтобы ни одна из мод излучения, распространяющаяся по оболочке, не могла быть обнаружена при измерении короткой длины волокна. Для этого часто используется иммерсионная жидкость, показатель преломления которой равен или больше показателя преломления оболочки. При использовании измерителей потерь эти условия обычно соблюдаются, на практике же следует обращать внимание на то, чтобы торцевые поверхности ОВ были перпендикулярны к их осям и не имели сколов и повреждений, препятствующих прохождению оптического излучения.

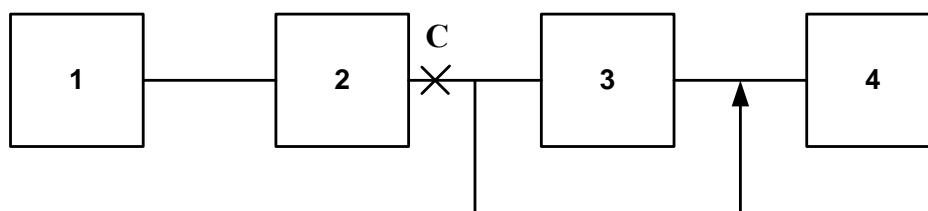
Процесс измерения в этом случае заключается в следующем (рис. 6) [1]:

1. Подготовка ОВ. Выход измеряемого ОВ подключается к источнику излучения.

2. Первое измерение. Выход измеряемого волокна подключается к измерителю мощности, затем фиксируются показания источника излучения  $P_{\text{ВЫХ}}$ .

3. Второе измерение. Производится скол волокна на расстоянии около 2 м от источника, фиксируется торец волокна на входе измерителя мощности, снимаются показания измерителя мощности  $P_{\text{ВХ}}$ .

4. Определение потерь. Разность между эталонным и измеренным уровнями и дает потери ОВ:  $A = P_{\text{ВХ}} - P_{\text{ВЫХ}}$ . Если необходимо определить затухание всей линии, последнее значение необходимо поделить на длину волокна.



- 1 - источник оптического излучения;
- 2 – смеситель мод (для многомодовых ОВ);
- 3 - измеряемый ОК;
- 4 – измеритель оптической мощности;
- С – точка обрыва ОВ.

Рис. 6. Схема измерения затухания ОВ методом обрыва

#### Приложение 4. Входной контроль ОК

Входной контроль строительных длин ОК выполняется с целью контроля качества ОК отраслевым нормам и требованиям стандартов и технических условий, а также определения пригодности ОК к прокладке и монтажу.

В процессе входного контроля производится внешний осмотр и измерения затухания волокон ОК. Кабель, не соответствующий отраслевым нормам и требованиям стандартов и технических условий, прокладке и монтажу не подлежит.

После вскрытия обшивки барабана проверяют наличие заводских паспортов, соответствие маркировки строительной длины, указанной в паспорте, маркировке на барабане; состояние кабеля на отсутствие вмятин, порезов, перекруток, утолщений путем внешнего осмотра.



В паспорте на кабель должна быть указана длина кабеля, номер барабана, коэффициенты затухания оптических волокон (ОВ). При отсутствии паспорта следует запросить его дубликат у завода-изготовителя. Снятый с барабана паспорт следует сохранять и впоследствии приложить к укладочной ведомости.

Измерения затухания оптических волокон кабеля производят в подготовленных помещениях. Помещения должны быть сухими, отапливаемыми, хорошо освещенными.

Измерения коэффициента затухания оптических волокон и проверка их на обрыв и однородность производятся на той же длине волны, на которой аттестованы волокна кабеля по паспорту. Измерения производятся в соответствии с требованиями ГОСТ Р МЭК 793-1-93. Результаты измерений коэффициента затухания волокон сравнивают с предельным значением коэффициента затухания для данного кабеля по паспорту. Если значения коэффициентов затухания ОВ окажутся больше предельного значения, то кабель подлежит отбраковке.

Результаты входного контроля фиксируются в протоколах. В случае выявления значительных дефектов, снижающих качество и надежность кабеля, должен быть составлен акт с участием представителей заказчика, подрядчика и завода-изготовителя.

# **Измерение затухания волокон оптического кабеля методом обрыва**

**Бурдин Владимир Александрович  
Никулина Татьяна Геннадьевна**