



This electronic version (PDF) was scanned by the International Telecommunication Union (ITU) Library & Archives Service from an original paper document in the ITU Library & Archives collections.

La présente version électronique (PDF) a été numérisée par le Service de la bibliothèque et des archives de l'Union internationale des télécommunications (UIT) à partir d'un document papier original des collections de ce service.

Esta versión electrónica (PDF) ha sido escaneada por el Servicio de Biblioteca y Archivos de la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT) a partir de un documento impreso original de las colecciones del Servicio de Biblioteca y Archivos de la UIT.

(ITU) للاتصالات الدولي الاتحاد في والمحفوظات المكتبة قسم أجزاء الضوئي بالمسح تصوير نتاج (PDF) الإلكترونية النسخة هذه والمحفوظات المكتبة قسم في المتوفرة الوثائق ضمن أصلية ورقية وثيقة من نقلً.

此电子版（PDF版本）由国际电信联盟（ITU）图书馆和档案室利用存于该处的纸质文件扫描提供。

Настоящий электронный вариант (PDF) был подготовлен в библиотечно-архивной службе Международного союза электросвязи путем сканирования исходного документа в бумажной форме из библиотечно-архивной службы МСЭ.



МЕЖДУНАРОДНЫЙ СОЮЗ ЭЛЕКТРОСВЯЗИ

# МККТТ

МЕЖДУНАРОДНЫЙ  
КОНСУЛЬТАТИВНЫЙ КОМИТЕТ  
ПО ТЕЛЕГРАФИИ И ТЕЛЕФОНИИ

## СИНЯЯ КНИГА

---

## ТОМ III – ВЫПУСК III.3

## ХАРАКТЕРИСТИКИ СРЕДЫ ПЕРЕДАЧИ

## РЕКОМЕНДАЦИИ G.601–G.654

---



IX ПЛЕНАРНАЯ АССАМБЛЕЯ  
МЕЛЬБУРН, 14 – 25 НОЯБРЯ 1988 ГОДА



МЕЖДУНАРОДНЫЙ СОЮЗ ЭЛЕКТРОСВЯЗИ

# МККТТ

МЕЖДУНАРОДНЫЙ  
КОНСУЛЬТАТИВНЫЙ КОМИТЕТ  
ПО ТЕЛЕГРАФИИ И ТЕЛЕФОНИИ

## СИНЯЯ КНИГА

---

## ТОМ III - ВЫПУСК III.3

## ХАРАКТЕРИСТИКИ СРЕДЫ ПЕРЕДАЧИ

## РЕКОМЕНДАЦИИ G.601-G.654

---



IX ПЛЕНАРНАЯ АССАМБЛЕЯ  
МЕЛЬБУРН, 14 – 25 НОЯБРЯ 1988 ГОДА

ISBN 92-61-03334-2





**СОДЕРЖАНИЕ КНИГИ МККТТ,  
ДЕЙСТВУЮЩЕЙ ПОСЛЕ IX ПЛЕНАРНОЙ АССАМБЛЕИ (1988 г.)**

**СИНЯЯ КНИГА**

**Том I**

- ВЫПУСК I.1** — Протоколы и отчеты Пленарной Ассамблеи. Перечень исследовательских комиссий и изучаемых вопросов.
- ВЫПУСК I.2** — Пожелания и резолюции.  
Рекомендации по организации и процедурам работы МККТТ (серия А).
- ВЫПУСК I.3** — Термины и определения. Аббревиатуры и сокращения. Рекомендации по средствам выражения (серия В) и общей статистике электросвязи (серия С).
- ВЫПУСК I.4** — Указатель Синей книги.

**Том II**

- ВЫПУСК II.1** — Общие принципы тарификации — Таксация и расчеты в международных службах электросвязи. Рекомендации серии D (Исследовательская комиссия III).
- ВЫПУСК II.2** — Телефонная служба и ЦСИС — Эксплуатация, нумерация, маршрутизация и подвижная служба. Рекомендации E.100—E.333 (Исследовательская комиссия II).
- ВЫПУСК II.3** — Телефонная служба и ЦСИС — Качество обслуживания, управление сетью и расчет нагрузки. Рекомендации E.401—E.880 (Исследовательская комиссия II).
- ВЫПУСК II.4** — Телеграфная и подвижная службы — Эксплуатация и качество обслуживания. Рекомендации F.1—F.140 (Исследовательская комиссия I).
- ВЫПУСК II.5** — Телематические службы, службы передачи данных и конференц-связи — Эксплуатация и качество обслуживания. Рекомендации F.160—F.353, F.600, F.601, F.710—F.730 (Исследовательская комиссия I).
- ВЫПУСК II.6** — Службы обработки сообщений и справочные службы — Эксплуатация и определение службы. Рекомендации F.400—F.422, F.500 (Исследовательская комиссия I).

**Том III**

- ВЫПУСК III.1** — Общие характеристики международных телефонных соединений и каналов. Рекомендации G.101—G.181 (Исследовательские комиссии XII и XV).
- ВЫПУСК III.2** — Международные аналоговые системы передачи. Рекомендации G.211—G.544 (Исследовательская комиссия XV).
- ВЫПУСК III.3** — Среда передачи — Характеристики. Рекомендации G.601—G.654 (Исследовательская комиссия XV).
- ВЫПУСК III.4** — Общие аспекты цифровых систем передачи; окончное оборудование. Рекомендации G.700—G.795 (Исследовательские комиссии XV и XVIII).
- ВЫПУСК III.5** — Цифровые сети, цифровые участки и цифровые линейные системы. Рекомендации G.801—G.961 (Исследовательские комиссии XV и XVIII).

- ВЫПУСК III.6** — Передача по линии нетелефонных сигналов. Передача сигналов звукового и телевизионного вещания. Рекомендации серий Н и J (Исследовательская комиссия XV).
- ВЫПУСК III.7** — Цифровая сеть с интеграцией служб (ЦСИС) — Общая структура и возможности служб. Рекомендации I.110—I.257 (Исследовательская комиссия XVIII).
- ВЫПУСК III.8** — Цифровая сеть с интеграцией служб (ЦСИС) — Общесетевые аспекты и функции, стыки пользователь — сеть ЦСИС. Рекомендации I.310—I.470 (Исследовательская комиссия XVIII).
- ВЫПУСК III.9** — Цифровая сеть с интеграцией служб (ЦСИС) — Межсетевые стыки и принципы технической эксплуатации. Рекомендации I.500—I.605 (Исследовательская комиссия XVIII).

#### Том IV

- ВЫПУСК IV.1** — Общие принципы технической эксплуатации; техническая эксплуатация международных систем передачи и международных телефонных каналов. Рекомендации M.10—M.782 (Исследовательская комиссия IV).
- ВЫПУСК IV.2** — Техническая эксплуатация международных телеграфных, фототелеграфных и арендованных каналов. Техническая эксплуатация международной телефонной сети общего пользования. Техническая эксплуатация морских спутниковых систем и систем передачи данных. Рекомендации M.800—M.1375 (Исследовательская комиссия IV).
- ВЫПУСК IV.3** — Техническая эксплуатация международных каналов звукового и телевизионного вещания. Рекомендации серии N (Исследовательская комиссия IV).
- ВЫПУСК IV.4** — Требования к измерительному оборудованию. Рекомендации серии О (Исследовательская комиссия IV).
- Том V** — Качество телефонной передачи. Рекомендации серии Р (Исследовательская комиссия XII).

#### Том VI

- ВЫПУСК VI.1** — Общие Рекомендации по телефонной коммутации и сигнализации. Функции и информационные потоки для служб в ЦСИС. Дополнения. Рекомендации Q.1—Q.118 bis (Исследовательская комиссия XI).
- ВЫПУСК VI.2** — Требования к системам сигнализации № 4 и № 5. Рекомендации Q.120—Q.180 (Исследовательская комиссия XI).
- ВЫПУСК VI.3** — Требования к системе сигнализации № 6. Рекомендации Q.251—Q.300 (Исследовательская комиссия XI).
- ВЫПУСК VI.4** — Требования к системам сигнализации R1 и R2. Рекомендации Q.310—Q.490 (Исследовательская комиссия XI).
- ВЫПУСК VI.5** — Цифровые местные, транзитные, комбинированные и международные станции в интегральных цифровых сетях и смешанных аналого-цифровых сетях. Дополнения. Рекомендации Q.500—Q.554 (Исследовательская комиссия XI).
- ВЫПУСК VI.6** — Взаимодействие систем сигнализации. Рекомендации Q.601—Q.699 (Исследовательская комиссия XI).
- ВЫПУСК VI.7** — Требования к системе сигнализации № 7. Рекомендации Q.700—Q.716 (Исследовательская комиссия XI).
- ВЫПУСК VI.8** — Требования к системе сигнализации № 7. Рекомендации Q.721—Q.766 (Исследовательская комиссия XI).
- ВЫПУСК VI.9** — Требования к системе сигнализации № 7. Рекомендации Q.771—Q.795 (Исследовательская комиссия XI).
- ВЫПУСК VI.10** — Цифровая абонентская система сигнализации № 1 (ЦАС 1), уровень звена данных. Рекомендации Q.920 и Q.921 (Исследовательская комиссия XI).

- ВЫПУСК VI.11** — Цифровая абонентская система сигнализации № 1 (ЦАС 1), сетевой уровень, управление пользователь — сеть. Рекомендации Q.930—Q.940 (Исследовательская комиссия XI).
- ВЫПУСК VI.12** — Сухопутная подвижная сеть общего пользования. Взаимодействие с ЦСИС и коммутируемой телефонной сетью общего пользования. Рекомендации Q.1000—Q.1032 (Исследовательская комиссия XI).
- ВЫПУСК VI.13** — Сухопутная подвижная сеть общего пользования. Подсистема подвижного применения и стыки. Рекомендации Q.1051—Q.1063 (Исследовательская комиссия XI).
- ВЫПУСК VI.14** — Взаимодействие со спутниковыми подвижными системами. Рекомендации Q.1100—Q.1152 (Исследовательская комиссия XI).

## Том VII

- ВЫПУСК VII.1** — Телеграфная передача. Рекомендации серии R. Оконечное оборудование телеграфных служб. Рекомендации серии S (Исследовательская комиссия IX).
- ВЫПУСК VII.2** — Телеграфная коммутация. Рекомендации серии U (Исследовательская комиссия IX).
- ВЫПУСК VII.3** — Оконечное оборудование и протоколы для телематических служб. Рекомендации T.0—T.63 (Исследовательская комиссия VIII).
- ВЫПУСК VII.4** — Процедуры испытания на соответствие Рекомендациям по службе телетекс. Рекомендация T.64 (Исследовательская комиссия VIII).
- ВЫПУСК VII.5** — Оконечное оборудование и протоколы для телематических служб. Рекомендации T.65—T.101, T.150—T.390 (Исследовательская комиссия VIII).
- ВЫПУСК VII.6** — Оконечное оборудование и протоколы для телематических служб. Рекомендации T.400—T.418 (Исследовательская комиссия VIII).
- ВЫПУСК VII.7** — Оконечное оборудование и протоколы для телематических служб. Рекомендации T.431—T.564 (Исследовательская комиссия VIII).

## Том VIII

- ВЫПУСК VIII.1** — Передача данных по телефонной сети. Рекомендации серии V (Исследовательская комиссия XVII).
- ВЫПУСК VIII.2** — Сети передачи данных: службы и возможности, стыки. Рекомендации X.1—X.32 (Исследовательская комиссия VII).
- ВЫПУСК VIII.3** — Сети передачи данных: передача, сигнализация и коммутация, сетевые аспекты, техническая эксплуатация и административные положения. Рекомендации X.40—X.181 (Исследовательская комиссия VII).
- ВЫПУСК VIII.4** — Сети передачи данных: взаимосвязь открытых систем (ВОС) — Модель и система обозначений, определение служб. Рекомендации X.200—X.219 (Исследовательская комиссия VII).
- ВЫПУСК VIII.5** — Сети передачи данных: взаимосвязь открытых систем (ВОС) — Требования к протоколам, аттестационные испытания. Рекомендации X.220—X.290 (Исследовательская комиссия VII).
- ВЫПУСК VIII.6** — Сети передачи данных: взаимодействие между сетями, подвижные системы передачи данных, межсетевое управление. Рекомендации X.300—X.370 (Исследовательская комиссия VII).
- ВЫПУСК VIII.7** — Сети передачи данных: системы обработки сообщений. Рекомендации X.400—X.420 (Исследовательская комиссия VII).
- ВЫПУСК VIII.8** — Сети передачи данных: справочная служба. Рекомендации X.500—X.521 (Исследовательская комиссия VII).

## Том IX

- Защита от мешающих влияний. Рекомендации серии K (Исследовательская комиссия V). Конструкция, прокладка и защита кабелей и других элементов линейных сооружений. Рекомендации серии L (Исследовательская комиссия VI).

## Том X

- ВЫПУСК X.1** — Язык функциональных спецификации и описания (SDL). Критерии применения формальных методов описания (FDT). Рекомендация Z.100 и приложения A, B, C и E. Рекомендация Z.110 (Исследовательская комиссия X).
- ВЫПУСК X.2** — Приложение D к Рекомендации Z.100: руководство для пользователей языка SDL (Исследовательская комиссия X).
- ВЫПУСК X.3** — Приложение F.1 к Рекомендации Z.100: формальное определение языка SDL. Введение (Исследовательская комиссия X).
- ВЫПУСК X.4** — Приложение F.2 к Рекомендации Z.100: формальное определение языка SDL. Статическая семантика (Исследовательская комиссия X).
- ВЫПУСК X.5** — Приложение F.3 к Рекомендации Z.100: формальное определение языка SDL. Динамическая семантика (Исследовательская комиссия X).
- ВЫПУСК X.6** — Язык МККТТ высокого уровня (CHILL). Рекомендация Z.200 (Исследовательская комиссия X).
- ВЫПУСК X.7** — Язык человек-машина (MML). Рекомендация Z.301—Z.347 (Исследовательская комиссия X).
-

## СОДЕРЖАНИЕ ВЫПУСКА III.3 СИНЕЙ КНИГИ

### Часть I — Раздел 6 — Рекомендации G.601—G.654

#### Характеристики среды передачи

Рек. №		Стр.
РАЗДЕЛ 6 — Характеристики среды передачи		
6.0	Общие рекомендации	
G.601	Терминология по кабелям . . . . .	3
G.602	Надежность и готовность кабельных аналоговых систем передачи и относящейся к ним аппаратуры . . . . .	8
6.1	Симметричные кабельные пары	
G.611	Характеристики симметричных кабельных пар для аналоговой передачи . . . . .	11
G.612	Характеристики симметричных кабельных пар для систем передачи со скоростями порядка 6—34 Мбит/с . . . . .	15
G.613	Характеристики симметричных кабельных пар, которые могут полностью использоваться для цифровых систем передачи со скоростью до 2 Мбит/с . . . . .	19
G.614	Характеристики симметричных кабелей звездной скрутки, разработанных ранее для аналоговых систем передачи и ныне используемых для цифровых систем передачи на скоростях 6—34 Мбит/с . . . . .	23
6.2	Коаксиальные пары наземных кабелей	
G.621	Характеристики коаксиальных пар 0,7/2,9 мм . . . . .	28
G.622	Характеристики коаксиальных пар 1,2/4,4 мм . . . . .	31
G.623	Характеристики коаксиальных пар 2,6/9,5 мм . . . . .	38
6.3	Подводные кабели	
G.631	Типы подводных кабелей, используемых для систем передачи с предельной частотой менее 45 МГц . . . . .	45

**6.4 Волноводы**

G.641	<b>Диаметры волноводов</b>	46
-------	----------------------------	----

**6.5 Волоконно-оптические кабели**

G.651	<b>Характеристики многомодовых градиентных волоконно-оптических кабелей 50/125 мкм</b>	47
G.652	<b>Характеристики одномодовых волоконно-оптических кабелей</b>	77
G.653	<b>Характеристики одномодовых волоконно-оптических кабелей со сдвигом дисперсии</b>	110
G.654	<b>Характеристики одномодовых волоконно-оптических кабелей с затуханием, минимизированным на волне 1550 нм</b>	114

**Часть II – Дополнения к Рекомендациям Раздела 6 Рекомендаций серии G**

Дополнение № 11	<b>Данные о судах-кабелеукладчиках и оборудовании подводных систем передачи различных стран</b>	119
Дополнение № 14	<b>Методы измерения равномерности затухания отражения</b>	127
Дополнение № 18	<b>Информация о глубоководных кабелях</b>	127
Дополнение № 19	<b>Цифровой метод измерения переходных влияний (метод, используемый Администрациями Испании, Нидерландов и Франции)</b>	127
Дополнение № 33	<b>Примеры указаний по проектированию волокна (схемы, используемые в Соединенном Королевстве и в Японии)</b>	127

**ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЕ ЗАМЕЧАНИЕ**

В настоящем выпуске для краткости термин "Администрация" используется для обозначения как Администрации электросвязи, так и признанной частной эксплуатационной организации.

**ЧАСТЬ I**

**Рекомендации G.601—G.654**

**ХАРАКТЕРИСТИКИ СРЕДЫ ПЕРЕДАЧИ**

**(Раздел 6 Рекомендаций серии G)**



**PAGE INTENTIONALLY LEFT BLANK**

**PAGE LAISSEE EN BLANC INTENTIONNELLEMENT**

## РАЗДЕЛ 6

### ХАРАКТЕРИСТИКИ СРЕДЫ ПЕРЕДАЧИ

В настоящий Раздел включены Рекомендации, относящиеся к физической среде передачи как в аналоговой, так и в цифровой форме. В нем не рассматриваются воздушные или радиорелейные линии. Он касается низкочастотных кабелей только как физической среды для цифровой передачи.

#### 6.0 Общие рекомендации

##### Рекомендация G.601

###### ТЕРМИНОЛОГИЯ ПО КАБЕЛЯМ

(Женева, 1980 г.)

1      Общие термины: усилители, дистанционное питание и т.д.

1001    усилительный пункт  
      англ.: *repeater*  
      исп.: *repetidor*  
      фр.: *répéteur*

Совокупность устройств, включающая один или несколько усилителей и/или регенераторов и относящуюся к ним аппаратуру, которая размещается в каком-либо пункте среды передачи.

*Примечание.* — Усилительный пункт может действовать в одном или в обоих направлениях передачи.

1002    аналоговый усилительный пункт  
      англ.: *analogue repeater; analog repeater*  
      исп.: *repetidor analógico*  
      фр.: *répéteur analogique*

Усилительный пункт для усиления аналоговых сигналов или цифровых сигналов и способный выполнять другие функции, кроме регенерации цифровых сигналов.

1003    регенерационный усилительный пункт  
      англ.: *regenerative repeater*  
      исп.: *repetidor regenerativo*  
      фр.: *répéteur régénérateur*

Усилительный пункт, обеспечивающий регенерацию цифровых сигналов и способный выполнять другие функции.

*Примечание.* — Это определение отличается от определения, которое дано в Рекомендации G.701 [1]. В то время, когда составлялся проект Рекомендации G.701, соответствующего определения МККТТ усилительного пункта не имелось. Принимая во внимание совокупность определений, которые приведены в настоящей Рекомендации, желательно включить определение "регенерационный усилительный пункт" в совокупность терминов для систем передачи, а не определять его всего лишь как устройство, как это имеет место в Рекомендации G.701.

1004 (усилительная) станция с непосредственным питанием

англ.: *directly powered (repeater) station*

исп.: *estación (de repetidores) alimentada directamente*

фр.: *station (de répéteurs) à alimentation indépendante*

*Усилительная станция, которая получает питание непосредственно от местной сети переменного тока или от местного генератора.*

1005 питающая (усилительная) станция

англ.: *power feeding (repeater) station*

исп.: *estación (de repetidores) de telealimentación*

фр.: *station d'alimentation (de répéteurs)*

*Усилительная станция с непосредственным питанием, которая обеспечивает электропитанием другие усилительные станции.*

1006 (усилительная) станция с дистанционным питанием

англ.: *dependent (repeater) station*

исп.: *estación (de repetidores) telealimentada*

фр.: *station (de répéteurs) téléalimentée*

*Усилительная станция, которая получает электропитание от питающей усилительной станции.*

*Примечание. — Электроэнергия может передаваться на станцию с дистанционным питанием либо по самой физической среде передачи, либо по внутренним жилам кабеля, либо по внешним кабелям.*

1007 окончание участка

англ.: *section termination*

исп.: *extremo de sección*

фр.: *extrémité de section*

*Точка, которая выбрана условно в качестве стыка между физической средой передачи и связанными с ней устройствами, такими, как усилительный пункт.*

*Примечание. — При точном выборе точки окончания участка следует принимать во внимание такие вспомогательные устройства, как сростки, разъемы или гибкие соединительные кабели с тем, чтобы учесть их в каждом конкретном случае с одной либо с обеих сторон от точки окончания.*

1008 элементарный кабельный участок

англ.: *elementary cable section*

исп.: *sección elemental de cable*

фр.: *section élémentaire de câble*

*Совокупность физической среды передачи и таких устройств, как сростки, разъемы или гибкие соединительные кабели, которые расположены между двумя последовательными окончаниями участка.*

1009 элементарный усилительный участок

англ.: *elementary repeatered section*

исп.: *sección elemental con amplificación*

фр.: *section élémentaire amplifiée*

*В заданном направлении передачи совокупность элементарного кабельного участка и примыкающего к нему аналогового усилительного пункта, которая расположена между двумя окончаниями участка.*

1010 элементарный регенерационный участок

англ.: *elementary regenerated section*

исп.: *sección elemental con regeneración*

фр.: *section élémentaire régénérée*

*В заданном направлении передачи совокупность элементарного кабельного участка и примыкающего к нему регенерационного усилительного пункта, которая расположена между двумя окончаниями участка.*

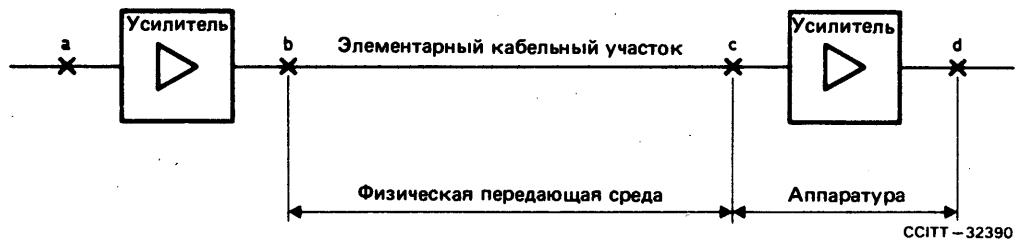
## 1011 коэффициент укрутки

англ.: *take-up factor*  
исп.: *factor de cableado*  
фр.: *facteur de câblage*

Отношение между значением линейного параметра, измеренного на единице длины кабеля, и значением того же параметра, измеренного на единице длины пары этого кабеля.

В результате укрутки (сборки элементов и, возможно, скрутки жил в пары, а затем в четверки) длина элементов кабеля становится больше осевой длины кабеля. Коэффициент укрутки есть отношение между этими двумя длинами.

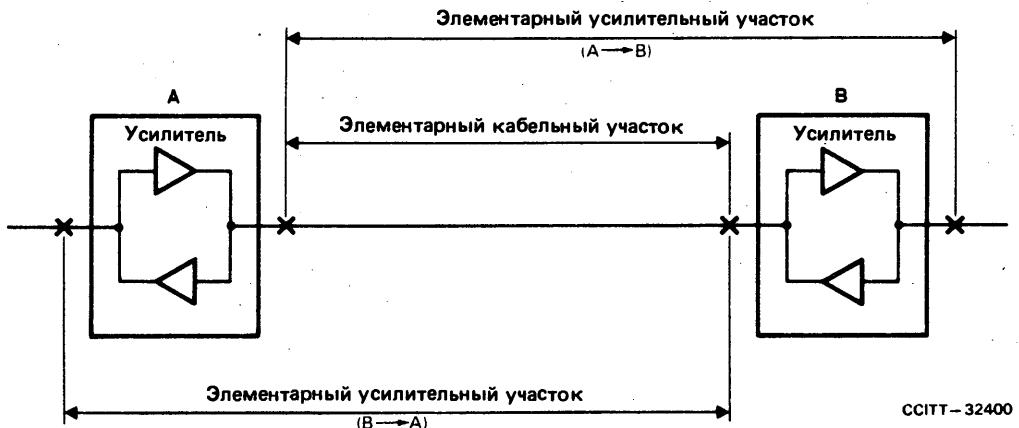
## 1012 Графическая иллюстрация использования некоторых терминов в § 1.



a, b, c, d    Окончания участков

РИСУНОК 1/G.601

Общие термины, относящиеся к усилителям и кабельным участкам



Х    Окончание участка

РИСУНОК 2/G.601

Общие термины, относящиеся к элементарному кабельному участку

## 2 Термины, относящиеся к кабельным измерениям

### 2.1 Применение слова "эхо" (только в случае кабельных измерений)

#### 2101 эхо

англ.: *echo*  
исп.: *eco*  
фр.: *écho*

Электрическая, акустическая или электромагнитная волна, которая поступает в данную точку после отражения или непрямого прохождения, имеет достаточно большую величину и задержку, чтобы быть заметной в этой точке как волна, отличающаяся от непосредственно передаваемой.

**2102 обратное эхо**

англ.: *backward echo*

исп.: *eco hacia atrás*

фр.: *écho (vers l'amont)*

Эхо, поступающее в определенную точку и имеющее направление передачи, противоположное направлению передачи непосредственно передаваемого сигнала.

**2103 прямое эхо**

англ.: *forward echo*

исп.: *eco hacia adelante*

фр.: *écho vers l'aval; traînage*

Эхо, поступающее в определенную точку и имеющее то же направление передачи, что и непосредственно передаваемый сигнал.

**2.2 Импульсные измерения**

**2201 эхометрическое измерение**

англ.: *echometric measurement*

исп.: *medición ecométrica*

фр.: *mesure échométrique*

Измерение, которое выполняется посредством исследования эха, сопровождающего передачу сигнала ограниченной дальности, который называется "измерительным сигналом", с целью анализа всех причин отражения.

**2202 длительность импульса**

англ.: *pulse duration*

исп.: *duración del impulso*

фр.: *durée d'une impulsion*

Интервал времени между первым и последним моментами, в течение которых мгновенное значение импульса (или его огибающей, если речь идет об импульсе несущей частоты) достигает определенной доли максимальной амплитуды.

**2203 синус-квадратичный (импульс)**

англ.: *sine-squared*

исп.: *impulso en seno cuadrado*

фр.: *impulsion en sinus carré*

Однонаправленный импульс, который определяется выражением:

$$y = K \sin^2(\pi t / 2T); 0 \leq t \leq 2T$$

$$y = 0; t < 0 \text{ и } t > 2T,$$

где

К — амплитуда,

Т — длительность импульса на полувысоте,

t — время.

**2204 импульсный эхометр**

англ.: *pulse echo meter*

исп.: *ecómetro de impulsos*

фр.: *échomètre à impulsions*

Прибор, который предназначен для выполнения эхометрических измерений с помощью импульсов.

**2205 элементарное эхо**

англ.: *elementary echo*

исп.: *eco elemental*

фр.: *écho élémentaire*

При эхометрическом измерении состояние эха в течение интервала времени, длительность которого сравнима с длительностью измерительного сигнала.

**2206 пикивая амплитуда элементарного эха**

англ.: *peak amplitude of an elementary echo*

исп.: *amplitud de cresta de un eco elemental*

фр.: *amplitude de crête d'un écho élémentaire*

Максимальное значение амплитуды эха, которое может быть достигнуто во время длительности элементарного эха.

**2207 относительная амплитуда элементарного эха**

англ.: *relative amplitude of an elementary echo*

исп.: *amplitud relativa de un eco elemental*

фр.: *amplitude relative d'un écho élémentaire*

Отношение между пиковой амплитудой элементарного эха и максимальной амплитудой измерительного сигнала, которое оценивается в точке передачи.

**2208 затухание отражения эха; затухание эха**

англ.: *pulse echo return loss; pulse echo attenuation*

исп.: *pérdida de retorno para el eco; atenuación de eco*

фр.: *affaiblissement d'écho*

Относительная амплитуда элементарного эха, выраженная в единицах передачи.

**2209 эхо, скорректированное по амплитуде**

англ.: *amplitude-corrected echo*

исп.: *eco corregido en amplitud*

фр.: *écho corrigé en amplitude*

Эхо, наблюдаемое после обработки с целью хотя бы частичной коррекции влияния распространения.

**2210 эхо, скорректированное по амплитуде и фазе**

англ.: *amplitude- and phase-corrected echo*

исп.: *eco corregido en amplitud y en fase*

фр.: *écho corrigé en amplitude et phase*

Эхо, наблюдаемое после обработки с целью коррекции влияния распространения на его амплитуду и форму.

**2211 кривая эха**

англ.: *echo curve*

исп.: *curva de eco*

фр.: *courbe d'écho*

Графическое или осциллографическое представление амплитуды эха в зависимости от времени.

*Примечание.* — Эхо может быть скорректировано по амплитуде или по амплитуде и фазе; в этом случае кривая называется "кривая эха, скорректированного по амплитуде и фазе".

**2212 эквивалентное отклонение**

англ.: *equivalent resistance error*

исп.: *error de resistencia equivalente*

фр.: *écart équivalent*

Величина условного отклонения полного сопротивления, которое, будучи расположено на конце участка среды передачи, при эхометрическом измерении, выполняемом на этом конце, будет создавать такую же отраженную энергию, что и все неоднородности этого участка.

**2213 скорректированное эквивалентное отклонение**

англ.: *corrected equivalent resistance error*

исп.: *error de resistencia equivalente corregido*

фр.: *écart équivalent corrigé*

*Эквивалентное отклонение, которое оценивается при эхометрическом измерении, включающем коррекцию эха. Эта коррекция может выполняться по амплитуде или по амплитуде и фазе или по каким-либо другим критериям (например, по энергии).*

*Примечание.* — Скорректированное эквивалентное отклонение может оцениваться относительно 1 км как отношение  $\Delta_k$  скорректированного эквивалентного отклонения  $\Delta_e$ , которое измерено на участке кабеля, к корню квадратному из длины  $L$  этого участка (в км) :

$$\Delta_k = \Delta_e / \sqrt{L} \Omega \cdot \text{km}^{-\frac{1}{2}}$$

## 2.3 Измерения, выполняемые с помощью синусоидального сигнала

### 2301 коэффициент отражения вследствие неоднородностей

англ.: *irregularity reflection coefficient*

исп.: *coeficiente de reflexión de las irregularidades*

фр.: *facteur de réflexion sur les irrégularités*

Коэффициент отражения, измеренный на одном конце участка среды передачи для определенного типа волны (моды) в условиях, допускающих исключение влияний отражений, иных, чем обусловленные собственными неоднородностями рассматриваемого участка.

### 2302 затухание вследствие неоднородностей

англ.: *regularity loss*

исп.: *pérdida de retorno por irregularidades*

фр.: *affaiblissement de l'onde réfléchie sur les irrégularités*

Выражение модуля  $P_i$  коэффициента отражения вследствие неоднородностей в единицах передачи. Его величина в децибелях равна:

$$A_i = -20 \log_{10} |P_i|.$$

## Библиография

- [1] Рекомендация МККТТ "Словарь терминов по импульсно-кодовой модуляции (ИКМ) и цифровой передаче", том III, Рек. G.701.

## Рекомендация G.602

### НАДЕЖНОСТЬ И ГОТОВНОСТЬ КАБЕЛЬНЫХ АНАЛОГОВЫХ СИСТЕМ ПЕРЕДАЧИ И ОТНОСЯЩЕЙСЯ К НИМ АППАРАТУРЫ

(Малага-Торремолинос, 1984 г.)

#### 1 Общий раздел

Система передачи: совокупность средств, необходимых для организации нормально функционирующего тракта передачи (например, канала 4 кГц) между оконечными стыками. В ее состав входят аппаратура преобразования, оконечная и промежуточная линейная аппаратура, кабели, установки электропитания, основные и резервные источники питания, а когда предусматривается автоматическое переключение на резерв, то и устройство переключения.

#### 2 Определения

##### a) надежность кабельных аналоговых систем передачи

Надежность одного блока или всей аналоговой системы передачи определяется как вероятность того, что это устройство может выполнять требуемые функции в течение заданного временного интервала. Среднее время наработки на отказ является одним из параметров, который дает возможность выразить эту вероятность количественно.

Отказом системы считаются случаи, когда имеет место:

- 1) полная потеря сигнала;
- 2) снижение уровня контрольной частоты на 10 дБ ниже номинального;
- 3) превышение суммарной невзвешенной мощностью шума, измеренной или вычисленной со временем интегриации 5 мс, значения 1 млн. пВт ( $10^6$  пВт) на условной эталонной цепи протяженностью 2500 км (см. Рекомендацию G.222).

Во всех случаях описанная ситуация должна длиться не менее 10 с<sup>1)</sup>.

<sup>1)</sup> Эту величину следует рассматривать как временную.

**b) готовность кабельных аналоговых систем передачи**

Готовность аналоговой системы передачи определяется как способность системы быть в состоянии нормально функционировать в любой заданный момент времени в пределах заданного интервала. В настоящей Рекомендации готовность аналоговой системы передачи количественно выражается как отношение времени, в течение которого система функционирует, к установленному суммарному времени.

На готовность оказывают влияние следующие четыре фактора:

- надежность аппаратуры;
- автоматическое переключение на резерв;
- процедура технического обслуживания;
- трассы прокладки кабелей и их защита.

При рассмотрении вопроса о значении отдельных факторов важную роль должны играть экономические аспекты.

*Примечание.* — Практика показала, что во многих случаях неисправности кабеля (порядка 95% времени неготовности) преобладают над неисправностями аппаратуры и что протяженность участка линии и вид трассы (вдоль дорог с интенсивным движением и т.п.) оказывают решающее влияние на величину готовности, которая может быть достигнута.

**3 Нормы**

**a) Надежность**

Как указано в определении готовности, надежность является только одним из факторов, определяющих готовность. Поэтому для надежности не рекомендуется никаких норм.

**b) Готовность**

**1) Условная эталонная цепь (2500 км)**

Норма готовности для условной эталонной цепи протяженностью 2500 км в одном направлении должна превышать 99,6% в течение одного года. При этом принимаются во внимание простота как аппаратуры преобразования, так и линейной аппаратуры и кабеля с соответствующими устройствами электропитания. Для достижения этого показателя может потребоваться соответствующее переключение на резерв.

**2) Аппаратура преобразования**

Расчетная норма готовности аппаратуры преобразования (см. приложение и рис. A-1/G.602) для условной эталонной цепи протяженностью 2500 км, рекомендованная для различных систем передачи, должна превышать 99,9% при оценке в одном направлении передачи в течение года.

**3) Участок линии**

Расчетная норма готовности однородного участка протяженностью 280 км в одном направлении передачи должна определяться, исходя из общих требований, которые предъявляются в условной эталонной цепи. Точное значение зависит от расчета сети.

**ПРИЛОЖЕНИЕ А**

(к Рекомендации G.602)

**Пример вычисления**

Пример вычисления надежности и готовности для участка линии в одном направлении передачи основан на следующих допущениях:

- 1) наработка на отказ для усилительного пункта равна  $2 \times 10^5$  часов (при передаче в одном направлении);
- 2) 100 усилительных пунктов на участке;
- 3) продолжительность каждого отказа 4 час.;
- 4) кабель с 12 коаксиальными парами и системой 1:5 переключения на резерв.

**a) Надежность (наработка на отказ)**

— 100 усилительных участков будут давать отказ через  $\left( \frac{2 \times 10^5}{100} \right) = 2000$  час.

b) Готовность (A)

— Имеется примерно 4,5 отказа в год  $\times$  4 час. = 18 час. простоя в год (0,2%).

— Без переключения на резерв  $A_1 = 99,8\%$ .

Неготовность  $X_0 = 2 \times 10^{-3}$ .

— С автоматическим переключением на резерв:  $A_2 = \left[ 1 - \frac{(N+M)!}{(M+1)! N!} X_0^{M+1} \right] \times 100\%$ ,

где

$N = 5$  (число систем в эксплуатации),

$M = 1$  (число резервных систем).

$$A_2 = \left[ 1 - \frac{6!}{2!5!} (2 \times 10^{-3})^2 \right] \times 100\% = \left[ 1 - (12 \times 10^{-6}) \right] \times 100\% = 99,999\%.$$

Примечание. — Эти вычисления относятся только к электронным устройствам; обрывы кабеля в расчет не принимаются.

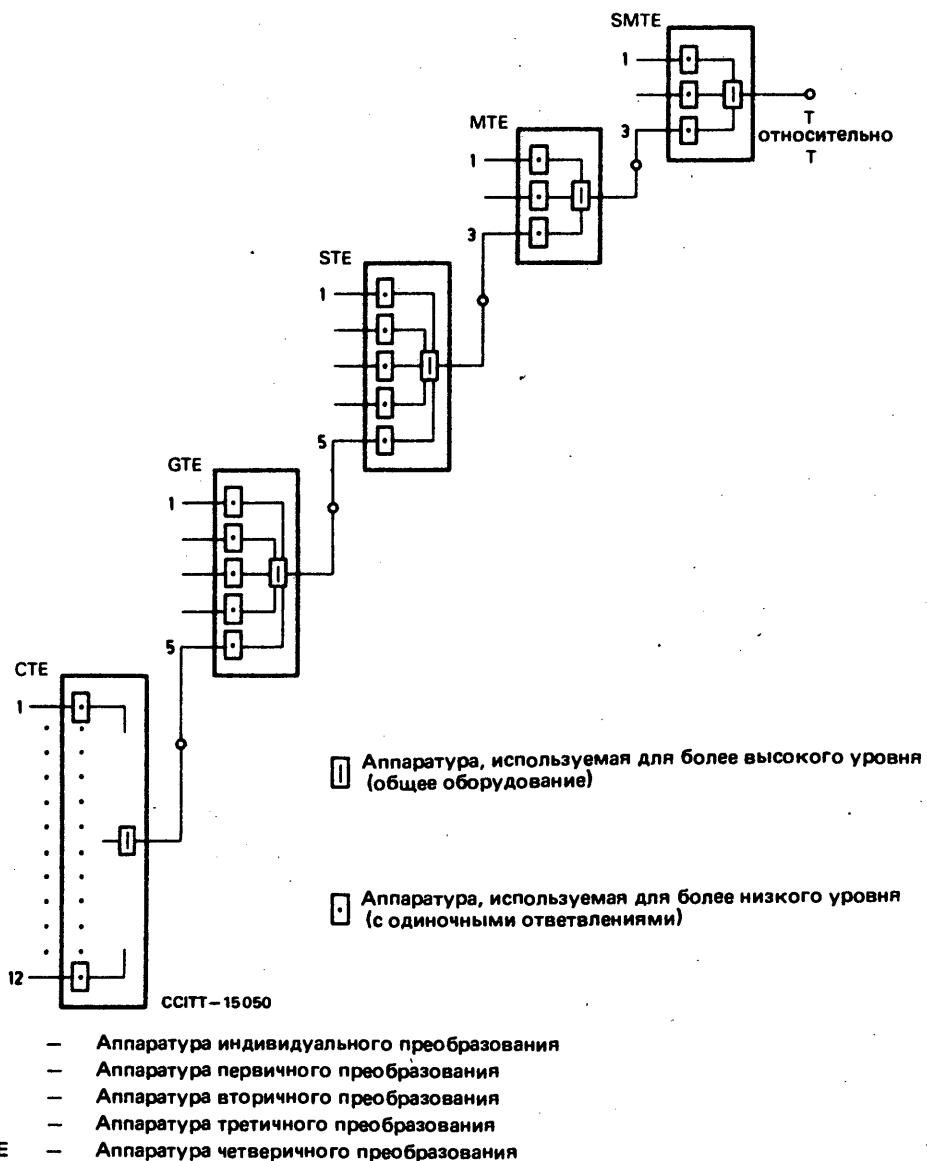


РИСУНОК А-1/G.602

Схема ступеней преобразования, показывающая общее оборудование и отдельные ветви  
(в качестве примера приведен план I, рассмотренный в Рекомендации G.211)

## 6.1 Симметричные кабельные пары

### Рекомендация G.611

#### ХАРАКТЕРИСТИКИ СИММЕТРИЧНЫХ КАБЕЛЬНЫХ ПАР ДЛЯ АНАЛОГОВОЙ ПЕРЕДАЧИ

(бывшая Рекомендация G.321, Женева, 1974 г.; изменена в Женеве, 1980 г.)

- 1 Технические требования на кабель — Примеры электрических характеристик пар кабеля звездной скрутки, предназначенного для получения 12, 24, 36, 48, 60 или 120 телефонных каналов по каждой паре четверки

#### 1.1 Типы кабелей

Администрации, решающие создать сеть симметричных кабелей, по возможности должны выбирать кабели, которые соответствуют указанным ниже типам.

Новые кабели, проложенные на европейской и североафриканской международных телефонных сетях, содержат непупинизированные симметричные пары, которые предназначены для получения 12, 24, 36, 48, 60 или 120 высокочастотных телефонных каналов по каждой паре. Эти пары скручены в звездные четверки, и все непупинизированные пары одного и того же кабеля принадлежат к одному из типов, номинальные характеристики которых приведены в таблице 1/G.611.

Важно, чтобы усилительный участок, пересекающий границу, был однотипным на всей своей протяженности. Если пограничный участок находится между большой и малой странами, то Администрация большой страны должна сделать все возможное, чтобы применить тот из трех типов кабеля, который используется малой страной, чтобы не вынуждать Администрации малых стран использовать участки международных кабелей, отличающихся от их национальных кабелей.

**Примечание 1.** — Некоторые Администрации благодаря особому вниманию к симметрированию кабелей и выбору соответствующих усилительных участков оказались в состоянии использовать системы с двумя вторичными группами, которые удовлетворяют Рекомендации G.322, на симметричных парах с бумажной изоляцией, соответствующих настоящим техническим требованиям.

**Примечание 2.** — Имеется возможность использовать также системы с двумя вторичными группами, которые удовлетворяют Рекомендации G.322, на парах типа II бис и III бис. Пары типа II бис имеют полиэтиленовую изоляцию, а пары типа III бис — стирофонексную.

ТАБЛИЦА 1/G.611

	Тип I	Тип II	Тип II	Тип III	Тип III
Диаметр жил (мм)	0,9	1,2	1,2	1,3	1,3
Эффективная емкость (нФ/км)	33	26,5	21	28	22
Волновое сопротивление (Ом)					
до 60 кГц	153	178	206	170	196
до 120 кГц	148	174	203	165	193
до 240 кГц	—	172	200	163	190
до 550 кГц	—	—	198	—	188
Затухание на единицу длины при температуре 10° С (дБ/км)					
до 60 кГц	2,3	—	—	—	—
до 120 кГц	3,1	2,0	1,5	1,8	1,4
до 240 кГц	—	2,9	2,1	2,7	2,0
до 552 кГц	—	4,8	3,1	4,4	3,0

## 1.2 Однородность строительных длин

Однородность может характеризоваться одним из изложенных ниже методов, выбор которого оставляется на усмотрение заинтересованных Администраций.

### 1.2.1 Рабочая емкость

"Рабочая емкость" измеряется между двумя жилами пары, когда другие жилы кабеля соединены между собой и оболочкой.

#### Разброс рабочей емкости

*Кабель типа I* — Средняя величина рабочих емкостей всех пар любой строительной длины не должна отличаться от номинальной величины более чем на  $\pm 5\%$ .

На любой строительной длине разность между любым значением рабочей емкости и средним значением, которое получено для этой строительной длины, не должна превышать  $\pm 7,5\%$ ; среднее арифметическое абсолютных величин этих разностей не должно превышать  $2,5\%$ .

*Кабели типов II, II бис, III и III бис* — Среднее значение рабочей емкости любой строительной длины не должно отличаться более чем на  $\pm 3\%$  от номинальной величины.

На любой строительной длине разность между рабочей емкостью любой пары и средней емкостью для строительной длины не должна превышать  $\pm 5\%$ .

### 1.2.2 Волновое сопротивление (кабели типов II, II бис, III и III бис)

Действительная часть волнового сопротивления любой пары, измеренная на частоте 120 кГц, не должна отличаться более чем на  $\pm 5\%$  от среднего значения для всех пар первой изготовленной партии каждого типа. Это среднее значение не должно отличаться более чем на  $\pm 5\%$  от номинального на частоте 120 кГц.

Волновое сопротивление измеряется на строительных длинах с помощью моста, при этом пары нагружаются полным сопротивлением, равным сопротивлению, которое измеряется с помощью моста.

## 1.3 Переходное влияние

Качество кабеля с точки зрения переходного влияния может быть охарактеризовано с помощью одного из двух описанных ниже методов, выбор которого оставляется на усмотрение заинтересованных Администраций.

### 1.3.1 Прямые измерения переходного влияния

Для строительной длины 230 м переходное влияние между любыми двумя цепями должно удовлетворять следующим требованиям:

- защищенность от переходного влияния на дальнем конце должна превышать 68 дБ,
- переходное затухание на ближнем конце должно превышать 56 дБ.

Для кабелей, которые используются для передачи пяти первичных групп или двух вторичных групп, эти величины должны выдерживаться на частотах до 240 кГц, а для кабелей с двумя первичными группами — на частотах до 120 кГц.

При этих измерениях пары должны быть нагружены сопротивлением, которое равно действительной части номинального входного сопротивления на соответствующей частоте.

Для строительных длин более 230 м указанные выше предельные значения уменьшаются на величину

$$20 \log_{10} \frac{L}{230} \text{ дБ},$$

где  $L$  — длина в метрах. Длины менее 230 м должны удовлетворять тем же требованиям, что и длина 230 м.

### 1.3.2 Емкостная асимметрия и взаимоиндукция

Все измерения емкостной асимметрии должны проводиться с помощью переменного тока частотой 800 Гц, измерения взаимоиндукции — с помощью переменного тока частотой 5000 Гц. Измерения должны выполняться при окружающей температуре без поправок, но в случае разногласий результаты, полученные при 10°С, рассматриваются как окончательные. Все жилы, за исключением измеряемых, должны быть соединены с оболочкой кабеля.

Для строительной длины кабеля 230 м емкостная асимметрия не должна превышать величин, указанных в таблице 2/G.611, а взаимоиндукция — величин, указанных в таблице 3/G.611. Эти таблицы содержат различные величины для кабелей типа I — в одном столбце и для кабелей типов II, II бис, III и III бис — в другом столбце.

ТАБЛИЦА 2/G.611

Емкость асимметрии

	Среднее значение всех показаний (без учета знака)		Максимальное значение показаний	
	Тип I	Типы II, II бис, III и III бис	Тип I	Типы II, II бис III и III бис
<b>Емкостная асимметрия (пФ):</b>				
между парами одной и той же четверки	33	17	125	60
между парами соседних четверок в одном и том же повиве	10	5	60	25
между парами несоседних четверок в одном и том же повиве	средняя величина не определена, так как измеряются не все комбинации		20	10
между парами четверок соседних повивов	10	5	60	25
между любой парой и землей	100	100	400	400

*Примечание.* — Указанные предельные значения средних величин не относятся к парам кабелей с четырьмя или менее четверками.

ТАБЛИЦА 3/G.611

Взаимоиндукция

	Среднее значение всех показаний (без учета знака)		Максимальное значение показаний	
	Тип I	Типы II, II бис, III и III бис	Тип I	Типы II, II бис, III и III бис
<b>Взаимоиндукция (нГн):</b>				
между парами одной и той же четверки	150	125	600	500
между парами соседних четверок в одном и том же повиве	100	40	400	150
между парами несоседних четверок в одном и том же повиве	50	20	350	150
между парами четверок соседних повивов	100	40	600	250

*Примечание.* — Указанные предельные значения средних величин не относятся к парам кабелей с четырьмя или менее четверками.

Для длин более 230 м необходимо применять следующие правила.

Приведенные в таблицах 2/G.611 и 3/G.611 средние величины между парами должны умножаться на квадратный корень из отношения между измеряемой длиной и длиной 230 м.

Как максимальные значения, так и средние, измеренные между парами и землей, должны умножаться на отношение между измеряемой длиной и длиной 230 м.

Длины менее 230 м должны удовлетворять тем же требованиям, что и длина 230 м.

## 1.4 Электрическая прочность

При наличии особых требований конструкция кабелей должна быть такой, чтобы изоляция любой строительной длины выдерживала без пробоя разность потенциалов, которая определяется в каждом конкретном случае, но не превышает 2000 В эффектив и прикладывается, по крайней мере, в течение 2 с между всеми жилами, соединенными вместе, и заземленной оболочкой. Испытания могут проводиться с помощью переменного тока частотой 50 Гц. Величина испытательного напряжения не должна превышать более чем на 10% пиковое значение синусоидального напряжения, которое имеет то же эффективное значение.

Испытания могут проводиться также с помощью постоянного тока [1]. В этом случае предельная величина напряжения должна быть в 1,4 раза больше эффективной величины напряжения при использовании переменного тока<sup>1)</sup>.

## 1.5 Сопротивление изоляции

Для строительной длины кабеля сопротивление изоляции, измеренное между жилой и всеми другими жилами, соединенными вместе и с заземленной оболочкой, не должно быть менее 10 000 МОм/км. Во время измерений разность потенциалов должна быть, по крайней мере, 100 В, но не более 500 В. Показания должны сниматься после включения напряжения в течение 1 мин при температуре не ниже 15°C.

# 2 Технические требования на усилительный участок

## 2.1 Максимальное затухание усилительного участка

Максимальное затухание нормального усилительного участка на самой высокой частоте, передаваемой по линии, должно быть 41 дБ для систем с малым усилением, по которым организованы одна, две или три первичные группы, или 36 дБ для систем с малым усилением, по которым организованы четыре или пять первичных групп или две вторичные группы.

## 2.2 Переходное влияние

Защищенность на дальнем конце между парами одного направления, измеренная на усилительных участках системы передачи по непупинизированным симметричным парам, которые на обоих концах нагружены волновыми сопротивлениями, не должна быть меньше указанных ниже величин (которые допускают наличие любых симметрирующих контуров).

- 1) При классическом методе симметрирования защищенность на дальнем конце усилительного участка для транзисторных систем передачи с малым усилением и числом каналов до 120 по кабелям типов II и III (или аналогичным кабелям) или для 120-канальных систем передачи с малым усилением по кабелям типа II бис или III бис должна быть не меньше 69,5 дБ.
- 2) Если "секция симметрирования" состоит из нескольких усилительных участков, то эквивалентный результат может быть получен по формуле  $69,5 - 10 \log_{10} n$  (дБ), где  $n$  — число усилительных участков в секции симметрирования.

## 2.3 Однородность волнового сопротивления

Волновое сопротивление любой пары на усилительном участке, образующем часть системы передачи по непупинизированным симметричным парам, не должно отличаться от номинальной величины более чем на указанные ниже величины:

- ± 5% (величина, измеренная на частоте 60 кГц) для усилительного участка 12-канальной системы передачи;
- ± 8% (величина, измеренная на частоте 108 кГц) для усилительного участка 24-канальной системы передачи;
- ± 8% (величина, измеренная на частоте 120 кГц) для усилительного участка 36-и 48-канальных систем передачи;
- ± 8% (величина, измеренная на частоте 240 кГц) для усилительного участка 60-канальной системы передачи;
- ± 8% (величина, измеренная на частоте 552 кГц) для усилительного участка 120-канальной системы передачи.

<sup>1)</sup> В [2] МККТТ не указывается формулы для общего применения при испытаниях в случае смешанных диэлектриков. Однако для испытаний телефонных кабелей МККТТ рекомендует использовать коэффициент 1,4 как соответствующий современной коммерческой практике.

## 2.4 Электрическая прочность

Если необходимо проверить электрическую прочность усилительного участка после прокладки, то в кабель подается постоянный ток напряжением, равным эффективной величине напряжения переменного тока, принятой для испытаний строительных длин (см. § 1.4, выше).

## 2.5 Сопротивление изоляции

Сопротивление изоляции, измеренное на концах кабеля между любой жилой и всеми другими жилами, соединенными вместе и с заземленной оболочкой (исключая внутреннюю проводку усилительной станции), должно быть не меньше 10 000 МОм/км. При измерении разность потенциалов должна быть, по крайней мере, 100 В, но не более 500 В. Снятие показаний должно производиться после электризации в течение 1 мин.

### Библиография

- [1] "Испытания на электрическую прочность", Синяя книга, том III, часть 4, приложение 19, МСЭ, Женева, 1965 г.
- [2] Там же, § 4.

### Рекомендация G.612

#### ХАРАКТЕРИСТИКИ СИММЕТРИЧНЫХ КАБЕЛЬНЫХ ПАР ДЛЯ СИСТЕМ ПЕРЕДАЧИ СО СКОРОСТЯМИ ПОРЯДКА 6–34 Мбит/с

(Женева, 1976 г.; изменена в Женеве, 1980 г.)

## 1 Введение

Настоящая Рекомендация относится к симметричным кабельным парам для передачи сигналов со скоростями порядка 6–34 Мбит/с, не исключающих возможность передачи сигналов с более низкими или более высокими скоростями при использовании соответствующих регенерационных участков. В большинстве случаев такие пары могут использоваться для передачи в исходной полосе частот видеотелефонных и телевизионных сигналов.

Кабели разделяются на два типа в зависимости от того, предусматривается ли в одном и том же кабеле передача в двух направлениях или нет.

## 2 Измеряемые параметры

В случае цифровых систем передачи такие параметры, как волновое сопротивление, коэффициент затухания и переходные влияния на дальнем конце между парами одного направления передачи, измеряются другим методом или на частотах, которые отличаются от указанных в Рекомендации G.611. В тех случаях, когда кабель предполагается использовать для передачи в обоих направлениях, необходимо измерять переходные влияния на ближнем конце между парами, которые выделены для различных направлений передачи.

### 2.1 Волновое сопротивление

Волновое сопротивление может измеряться:

- либо синусоидальным методом, когда измеряемые пары нагружаются волновым сопротивлением, равным измеренному с помощью мостовой схемы, за исключением случая, когда длина достаточна, чтобы результат измерения не зависел от нагрузки;
- либо с помощью эхометра<sup>1)</sup>, когда волновое сопротивление измеряемой пары компенсируется регулируемым балансным контуром, который отградуирован таким образом, чтобы показывать величину волнового сопротивления. Измеряемая пара нагружается на идентичный контур.

<sup>1)</sup> Этот метод аналогичен используемому для коаксиальных пар, но при симметричных головке и контурах. Длительность импульса 100 нс; эхосигнал не корректируется.

## 2.2 Коэффициент затухания

Километрическое затухание пары получается из величины, измеренной на элементарном кабельном участке, с учетом допустимого отклонения, которое принято для таких участков.

*Примечание.* — В случае измерений по шлейфу необходимо убедиться в том, что величина переходных влияний на ближнем конце между парами, образующими шлейф, достаточна.

## 2.3 Переходное влияние

Переходное влияние может определяться синусоидальным методом на частотах, близких к полутактовой частоте применяемой системы передачи, или цифровым методом<sup>2)</sup>.

### 2.3.1 Измерение переходного влияния на дальнем конце

Измерение переходного влияния на дальнем конце производится на частоте выше 100 кГц на парах, которые используются для работы в одном и том же направлении. Если частота не равна полутактовой частоте системы передачи, то нормируемая величина должна быть скорректирована на коэффициент  $20 \log_{10} f^3)$ .

### 2.3.2 Измерение переходного влияния на ближнем конце

Если предполагается двусторонняя передача в одном и том же кабеле, то эти измерения производятся на стандартной длине синусоидальным или импульсным методом между парами, которые используются для противоположных направлений передачи.

## 3 Характеристики пар и кабелей

Администрации, решившие использовать симметричные пары для цифровой передачи со скоростями порядка 6—34 Мбит/с, должны, если это возможно, выбирать один из типов кабеля, указанных в §§ 3.1 и 3.2, ниже.

### 3.1 Кабели, предназначенные для передачи в одном направлении по одному кабелю

#### 3.1.1 Основные характеристики пар приведены в таблице 1/G.612.

#### 3.1.2 Характеристики кабелей, разработанных с применением указанных пар, приведены в таблице 2/G.612.

### 3.2 Кабели, предназначенные для передачи в обоих направлениях по одному кабелю

В таблицах 3/G.612 и 4/G.612 приведены характеристики пар, из которых составляются кабельные пары и четверки соответственно.

Все эти кабели состоят из пучков, защищенных одним или несколькими медными или алюминиевыми экранами, причем пары в каждом пучке используются для одного направления передачи. В связи с этим величины переходного влияния на ближнем конце относятся только к парам из разных пучков.

*Примечание 1.* — Для того, чтобы сделать таблицы 3/G.612 и 4/G.612 единообразными, приводятся величины волнового сопротивления на частоте 1 МГц (действительная часть  $Z_1$ ). Соотношение между сопротивлением  $Z_1 = X_1 - jY_1$  на частоте 1 МГц и сопротивлением  $Z_f = X_f - jY_f$  на частоте  $f$  МГц таково:

$$X_f = X_1 - Y_1 + Y_1/\sqrt{f} \text{ и } Y_f = Y_1/\sqrt{f}.$$

Разность между величиной действительной части сопротивления на частоте 1 МГц и на частоте 4 МГц составляет от 2 до 3 Ом. Мнимая часть волнового сопротивления на частоте 1 МГц составляет от 4 до 6 Ом; на частотах выше 0,3 МГц она изменяется обратно пропорционально корню квадратному из частот.

*Примечание 2.* — Исходя из тех же соображений, что и в примечании 1, величина затухания указана на частоте 1 МГц. Соотношение между затуханием  $a_f$  на частоте  $f$  МГц ( $f > 1$ ) и затуханием  $a_1$  на частоте 1 МГц имеет вид  $a_f = a_1 \sqrt{f}$ .

*Примечание 3.* — В тех случаях, когда длина измеряемого кабеля отличается от 1000 м, величина переходного влияния на дальнем конце приводится к длине 1000 м с помощью выражения  $10 \log_{10} L$ . Указанные величины переходного влияния являются минимальными предельными величинами для технических требований на систему. Для случаев, когда какое-либо из этих условий не выполняется, величины приводятся в скобках.

<sup>2)</sup> Пример цифровой методики приведен в Дополнении № 19.

<sup>3)</sup> Что касается кабелей с симметричными парами звездной четверки, то закон  $20 \log_{10} f$  используется для пар одной и той же четверки только до определенной характеристической частоты; на частотах выше указанной необходимо использовать закон  $40 \log_{10} f$ .

ТАБЛИЦА 1/G.612

Характеристики пары	Кабель типа I
Диаметр жил (мм)	0,64
Средняя рабочая емкость пар (нФ/км)	24,2
Волновое сопротивление ( $\Omega$ м) <sup>a)</sup>	178
Коэффициент затухания при 24°C (дБ/км) <sup>a)</sup>	13,5

<sup>a)</sup> Затухание и волновое сопротивление измеряются на частоте 3150 кГц.

ТАБЛИЦА 2/G.612

	Вариант 1 <sup>a)</sup>	Вариант 2 <sup>a)</sup>
Номинальное волновое сопротивление $Z_0$ (требуемое среднее значение на частоте 3150 кГц) ( $\Omega$ м)	178	
Затухание и переходное влияние		
Затухание на частоте 3150 кГц при 24°C (дБ/км)		
пара с минимальным затуханием	11,8	11,8
пара с максимальным затуханием	14,35	14,6
Защищенность от переходного влияния на дальнем конце для длины 300 м (1000 футов) на частоте 3150 кГц (дБ)		
суммарная минимальная мощность на пару	37,5	39,0
минимальное затухание между двумя парами (точка 0,1%)	40,5	40,5
Сопротивление по постоянному току при 24°C (Ом/км)		
максимальное значение для проводника	56,8	
требуемое среднее	54,5	
Средняя рабочая емкость кабеля (нФ/км)		
максимальная	25,4	
минимальная	23,0	
требуемая средняя	24,2	
среднеквадратичная величина стандартного отклонения ( $\sigma$ ) пар кабеля (%)	≤ 7	
Емкостная асимметрия относительно земли (пФ/км)		
пара с максимальной асимметрией	≤ 443	
средняя для кабеля	≤ 164	
Электрическая прочность при постоянном токе		
между жилами при покрытии типа ARPAP <sup>b)</sup>	≥ 1 500 V (в течение 1 с)	
жил и внутреннего алюминиевого покрытия к экрану	≥ 20 000 V (в течение 3 с)	
жил к внутреннему алюминиевому покрытию и экрану	≥ 5 000 V (в течение 3 с)	

a) Приводятся два набора величин затухания и переходного влияния на дальнем конце. Кабели могут удовлетворять одному из них, причем кабели с меньшим затуханием могут удовлетворять менее высоким требованиям к переходному влиянию.

b) Алюминий-смола-полиэтилен-алюминий-полиэтилен.

ТАБЛИЦА 3/G.612

## Кабельные пары

Характеристика	Тип кабеля				
	I	II	III	IV	V
Номинальное волновое сопротивление $Z_0$ на частоте 1 МГц (Ом)	160	160	140	120	145
Защищенность от переходного влияния на дальнем конце (минимальные значения, отнесенные к 1000 м) (дБ)	1 МГц 4 МГц 17 МГц	43 <sup>a)</sup>	43 <sup>a)</sup>	40	56 44 31
Переходное затухание на ближнем конце от 1 до 17 МГц (минимальные значения) (дБ)	119	119	98	116	125
Номинальный коэффициент затухания на частоте 1 МГц <sup>b)</sup> (дБ/км при 10°C)	7,0	9,3	10,5	9,5	5,2
Номинальная емкость (нФ/км)	28,5	28,5	31,5	38	30
Диаметр жил (мм)	0,8	0,6	0,65	0,9	1,2

- a) Измерения переходных влияний на дальнем конце на элементарных кабельных участках для пар этого типа выполняются только в случае цифровой передачи (см. Дополнение № 19). Максимальное нормированное значение составляет 30 мВ.
- b) Фактические значения должны обеспечить удовлетворение требований к элементарному кабельному участку (тип I:  $56 \pm 2$  дБ на частоте 4,2 МГц и при 10°C для 4 км; тип II:  $56 \pm 2$  дБ на частоте 4,2 МГц для 3 км; тип III: ниже 55 дБ на частоте 3,15 МГц для 2,8 км).

ТАБЛИЦА 4/G.612

## Четверочные кабели

Характеристика	Тип кабеля	
	I	II
Номинальное волновое сопротивление $Z_0$ на частоте 1 МГц (Ом)	165	120
Защищенность от переходного влияния на дальнем конце (минимальные значения, отнесенные к 1000 м) (дБ)	Разные четверки  1 МГц 4 МГц 13 МГц 17 МГц  Одна и та же четверка  1 МГц 4 МГц 13 МГц 17 МГц	46 34 31  (45) (25) (21)  a)  46 34 c)
Переходное затухание на ближнем конце от 1 до 17 МГц (минимальные значения) (дБ)	125 <sup>b)</sup>	116
Номинальный коэффициент затухания на частоте 1 МГц (дБ/км при 10°C)	8,8	9,5
Номинальная емкость (нФ/км)	28	38
Диаметр жил (мм)	0,65	0,9

a) Для передачи со скоростью 34 Мбит/с по каждой паре звездной четверки на элементарном кабельном участке длиной 2 км применяется симметрирование с помощью систематического скрещивания через каждые 500 м, что улучшает значение переходного затухания на дальнем конце, по крайней мере, на 15 дБ. Таким образом, указанные значения соответствуют 500 м кабеля.

b) Для 99% случаев это значение должно быть выше 130 дБ.

c) Передача со скоростью 34 Мбит/с по каждой паре звездной четверки изучается.

**ХАРАКТЕРИСТИКИ СИММЕТРИЧНЫХ КАБЕЛЬНЫХ ПАР,  
КОТОРЫЕ МОГУТ ПОЛНОСТЬЮ ИСПОЛЬЗОВАТЬСЯ ДЛЯ ЦИФРОВЫХ СИСТЕМ  
ПЕРЕДАЧИ СО СКОРОСТЬЮ ДО 2 Мбит/с**

(Малага-Торремолинос, 1984 г.)

## 1 Введение

В настоящей Рекомендации рассматриваются кабели, предназначенные для стандартных цифровых систем передачи (Рекомендации серии G.900), хотя эти же кабели могут применяться и для передачи цифровых сигналов на более низких скоростях и сигналов тональной частоты. По рассматриваемым кабелям сигналы передаются в обоих направлениях одновременно. Положения настоящей Рекомендации применимы к кабелям, предназначенным для цифровой передачи по всем их цепям. Однако некоторые положения могут применяться для оценки возможности цифровой передачи (частично или полностью) по существующим кабелям.

## 2 Параметры, подлежащие измерению

### 2.1 Активное сопротивление

Для приведения значений  $R_t$  активного сопротивления, которое измеряется при  $t^{\circ}\text{C}$ , к температуре  $20^{\circ}\text{C}$  применяется следующая формула:

$$R_{20} = R_t / (1 + 0.004 (t - 20))$$

### 2.2 Электрическая емкость на единицу длины

Она измеряется на частотах 800 или 1000 Гц.

### 2.3 Коэффициент затухания

Значение коэффициента затухания можно получить либо путем прямого измерения затухания, либо посредством вычисления, исходя из рабочей емкости и активного сопротивления пары. Коэффициент затухания измеряется только на одной частоте  $f_0$  вблизи полутактовой частоты.

Система	Рекомендация	$f_0$
1544 кбит/с	G.951	772 КГц
2048 кбит/с	G.952	1 МГц

Для кабелей с полиолефиновой изоляцией значение коэффициента затухания на частоте  $f$  (для значений  $f$  выше на несколько сот кГц) может быть соотнесено с  $a_0$  согласно уравнению:  $a_f = a_0 \sqrt{\frac{f}{f_0}}$ .

Значение коэффициента затухания, измеренное при  $t^{\circ}\text{C}$ , корректируется для  $20^{\circ}\text{C}$  по уравнению:

$$a_{20} = a_t / (1 + 0.002 (t - 20)).$$

## 2.4 Волновое сопротивление

### 2.4.1 Эхометрическое измерение

Когда используется эхометр, полное сопротивление пары должно быть скомпенсировано калиброванным балансным контуром, ступенями примерно по 0,5 Ом. Длительность импульса должна быть равна или меньше 500 нс. Использование этого быстрого и простого метода позволяет непосредственно считывать со шкалы балансного контура значение измеряемого волнового сопротивления пары.

### 2.4.2 Измерение с помощью синусоидального сигнала

В этом случае испытываемая пара нагружается сопротивлением, которое равно волновому сопротивлению, измеренному с помощью мостовой схемы, если только эта пара не достаточно длинна, чтобы результат измерения не зависел от сопротивления нагрузки (как это имеет место в случае элементарных кабельных участков).

## 2.5 Переходное влияние

Переходное влияние измеряется с помощью синусоидального сигнала или цифровым методом. Выбор пар для направлений передачи зависит от конструкции кабеля и способа его изготовления.

### 2.5.1 Измерение с помощью синусоидального сигнала

#### 2.5.1.1 Переходное влияние на дальнем конце

Измерение производится между парами, которые предназначены для одного направления передачи, на частоте  $f_0$ . Если частота, на которой выполняется измерение, не является полутактовой частотой, то измеренное значение корректируется по закону  $20 \log_{10} f$ . Когда измерение выполняется на паре, длина которой  $L$ , отличается от нормированной эталонной длины  $L_0$ , измеренное значение корректируется по формуле  $\sqrt{L/L_0}$ , если это значение выражается в милливольтах, или по формуле  $10 \log_{10} \frac{L}{L_0}$ , если оно выражается в децибелах.

#### 2.5.1.2 Переходное влияние на ближнем конце

Измерение выполняется между парами, которые предназначены для передачи в противоположных направлениях, на частоте, близкой к полутактовой частоте системы.

### 2.5.2 Измерение цифровым методом

С помощью цифрового метода измерения можно оценить суммарный шум на элементарном кабельном участке с учетом переходного влияния как на дальнем конце, так и на ближнем. Такую оценку можно сделать на основе разделенных измерений переходных влияний на дальнем и ближнем концах либо на строительных длинах, либо на элементарных кабельных участках<sup>1)</sup>. Эти измерения можно выполнить и в заводских условиях, и на проложенных кабелях.

#### 2.5.2.1 Переходное влияние на дальнем конце

Измерения выполняются между парами, которые предназначены для одного направления передачи. Если измерение выполняется на паре, длина  $L$  которой отличается от нормированной контрольной длины  $L_0$ , то измеряемое значение корректируется по формуле  $\sqrt{L/L_0}$ , если это значение выражается в милливольтах, или по формуле  $10 \log_{10} (L/L_0)$ , если оно выражается в децибелах.

#### 2.5.2.2 Переходное влияние на ближнем конце

Измерения выполняются между парами, которые предназначены для передачи в противоположных направлениях.

## 3 Характеристики цепей

Характеристики цепей приведены в таблице 1/G.613.

## 4 Характеристики смонтированных кабельных участков

Характеристики смонтированных кабельных участков приведены в таблице 2/G.613.

<sup>1)</sup> Одно из достоинств измерения цифровым методом состоит в возможности выполнить прямое полное измерение суммарного шума на элементарном кабельном участке, если имеется достаточное количество генераторов.

ТАБЛИЦА 1/G.613

## Характеристики цепей\*

Характеристики	Тип кабеля				
	Тип I	Тип II	Тип II бис	Тип III ****	f)
Рабочая скорость передачи (кбит/с)	2048	2048	2048	2048	
Усиление промежуточных усилителей**	34 дБ				
Составные части кабеля	звездная четверка	пары	пары	пары	
Номинальный диаметр проводника (мм)	0,8	0,7	1	0,6	
Номинальное волновое сопротивление*** на частоте $f_0$ МГц (Ом)	1 МГц	100	130	130	
	772 кГц				
Номинальный коэффициент затухания на частоте $f_0$ МГц при 20°C (дБ/км)	1 МГц	16	11,5 (b)	8,5 (b)	15,5
	772 кГц				
Переходное влияние при цифровой передаче	a)	c)	—	—	—
Напряжение суммарного шума (максимальное значение)	a)				
Минимальное переходное влияние на ближнем конце (мВ)	a)	—	60 d, g)	60 d, g)	
	a)				
Минимальное переходное влияние на дальнем конце (мВ)	a)	—	45 e, g)	45 e, g)	
	a)				
Переходное влияние, измеренное синусоидальным сигналом	На ближнем конце (дБ)	1 МГц			78 ± 3 h)
		772 кГц			
	На дальнем конце (дБ)	1 МГц			64 ± 3 h)
		772 кГц			
Номинальное сопротивление постоянного тока при 20°C (Ом/км)		68,6	94,1 b)	46,1 b)	63
Номинальная рабочая емкость (нФ/км)		50	39	39	44

*Примечания к таблице 1/G.613*

- \* На настоящем этапе эти значения даны для информации.
- \*\* Эталонное значение для цифровых характеристик рассматриваемого кабеля.
- \*\*\* Стандартное отклонение или запасы будут даны позже.
- \*\*\*\* Кабель с диаметральным экраном, разделяющий пары, предназначенные для двух направлений передачи.

- a) Подлежит определению.
- b) Максимальное значение.
- c) Значение по техническим требованиям для заводского контроля вычисляется таким образом, чтобы оно обеспечивало соответствие характеристикам подключаемого кабеля.
- d) Между парами различных пучков.
- e) Между парами одного пучка.
- f) В прочих столбцах указываются данные, представленные администрациями.
- g) Значения даны в дБ.
- h) Представленное здесь значение зависит от конструкции кабеля. Оно представляет собой среднее значение стандартного отклонения всей партии кабеля, и поэтому для индивидуальных длин кабеля технические требования отсутствуют.

ТАБЛИЦА 2/G.613

*Характеристики смонтированных кабельных участков\**

Характеристики	Тип кабеля				
	Тип I	Тип II	Тип II бис	Тип III	a)
Рабочая скорость передачи (кбит/с)	2048	2048	2048		
Номинальное волновое сопротивление на частоте $f_0$ МГц (Ом)	1 МГц	100	130	130	
	772 кГц				
Номинальный коэффициент затухания на частоте $f_0$ МГц при 20°C (дБ/км)	1 МГц	16	11,5	8,5	
	772 кГц				
Переходное влияние при цифровой передаче Напряжение суммарного шума (максимальное значение)	b)	40 мВ			
	b)				
Минимальное переходное влияние на ближнем конце (мВ)	b)				
	b)				
Минимальное переходное влияние на дальнем конце (мВ)	b)				
	b)				
Переходное влияние, измеренное синусоидальным сигналом	На ближнем конце (дБ)	1 МГц			
		772 кГц			
	На дальнем конце (дБ)	1 МГц			
		772 кГц			

\* На настоящем этапе значения приводятся для сведения.

- a) В других столбцах будут указаны данные, представленные Администрациями.
- b) Требует нормирования.

ХАРАКТЕРИСТИКИ СИММЕТРИЧНЫХ КАБЕЛЕЙ ЗВЕЗДНОЙ СКРУТКИ,  
РАЗРАБОТАННЫХ РАНЕЕ ДЛЯ АНАЛОГОВЫХ СИСТЕМ ПЕРЕДАЧИ  
И НЫНЕ ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ДЛЯ ЦИФРОВЫХ СИСТЕМ ПЕРЕДАЧИ  
НА СКОРОСТЯХ 6–34 Мбит/с

(Мельбурн, 1988 г.)

1 Введение

Настоящая Рекомендация касается симметричных кабелей звездной скрутки, которые первоначально были разработаны и использовались для организации 60–120-канальных аналоговых систем передачи по каждой паре четверки. После реконструкции линии эти кабели используются для цифровых систем передачи на скоростях 6–34 Мбит/с. Рассматриваемые кабели не имеют экранированных пар и четверок.

Для цифровых систем передачи на скорости 8 Мбит/с может применяться как однокабельный, так и двухкабельный режим. Для систем со скоростью передачи 34 Мбит/с используется только двухкабельный режим.

Для цифровых систем передачи могут использоваться как несколько пар кабеля, так и все его пары.

2 Параметры, подлежащие измерению

Измерению подлежат все параметры, которые определены в Рекомендации G.612, а именно, волновое сопротивление, коэффициент затухания, переходные влияния на дальнем конце между парами одного направления передачи и переходные влияния на ближнем конце между парами кабелей различных направлений передачи. В тех случаях, когда кабель предполагается использовать для передачи в обоих направлениях, также необходимо измерять переходные влияния на ближнем конце между парами, которые выделены для различных направлений передачи.

2.1 Волновое сопротивление

Характеристики волнового сопротивления измеряются в соответствии с § 2.1 Рекомендации G.612.

2.2 Коэффициент затухания

Коэффициент затухания измеряется в соответствии с § 2.2 Рекомендации G.612.

2.3 Переходное влияние

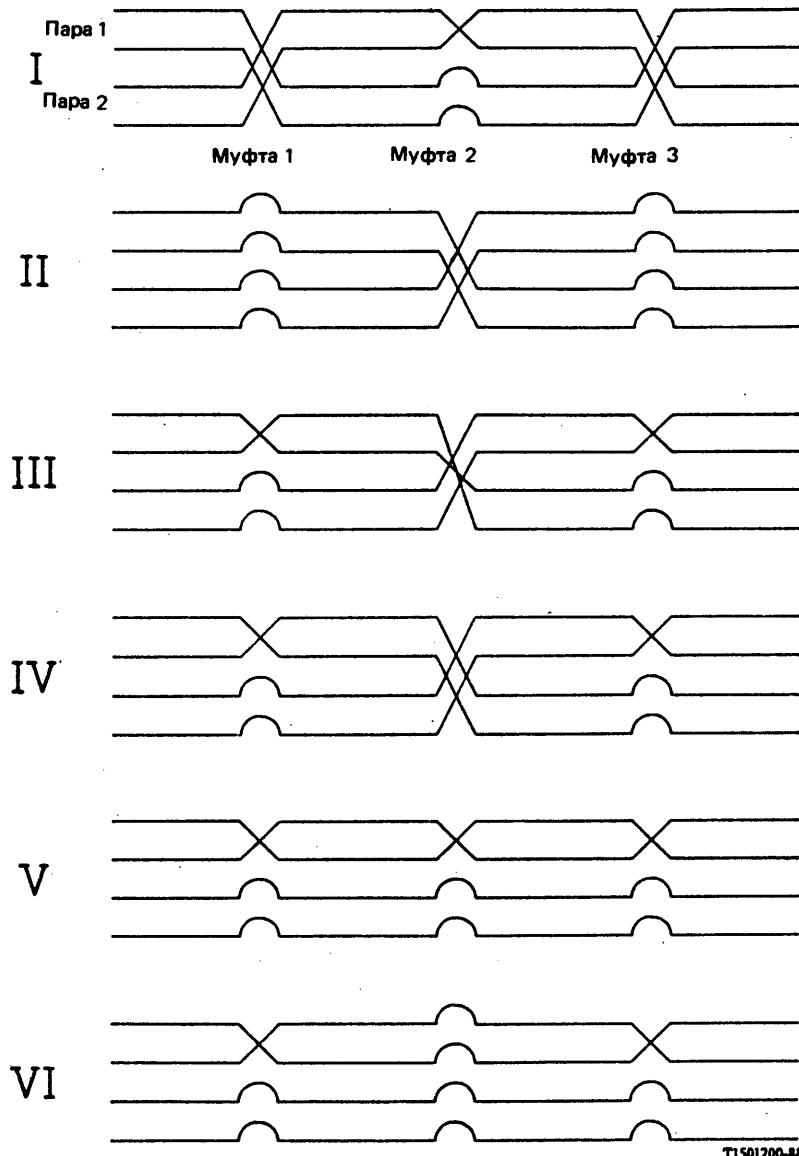
Переходное влияние измеряется в синусоидальном режиме на частоте, близкой к полутактовой частоте цифровой системы передачи и/или на других частотах. Может применяться также цифровой метод измерения.

2.3.1 Измерение переходного влияния на дальнем конце между парами разных четверок

Измерение переходного влияния на дальнем конце производится на частоте выше 0,1 МГц на парах, которые используются для работы в одном направлении; при этом протяженность кабеля составляет  $L$ . Если измерительная частота не равна полутактовой частоте цифровой системы передачи, то нормируемая величина должна быть скорректирована на коэффициент  $20 \log_{10} f$ . Для приведения к длине 1000 м эти величины корректируются поправкой  $10 \log_{10} L$ .

2.3.2 Измерение переходного влияния на дальнем конце между парами одной четверки

Это измерение производится при длине кабеля, равной максимально допустимой длине регенерационного участка цифровой системы передачи со скоростью 6–34 Мбит/с на частоте выше 1,0 МГц (измерение производится отдельно для каждой скорости передачи цифровой системы); при этом систематическая составляющая переходного влияния в этой четверке компенсируется. Компенсация систематической составляющей переходного влияния выполняется по одной из приблизительно эквивалентных схем скрещивания (см. рис. 1/G.614). В том случае, когда регенерационные участки имеют меньшую длину, эти методы, которые заключаются в разделении элементарных кабельных участков на отдельные части и выполнении скрещивания в четверках, дают более высокие значения переходного влияния на дальнем конце между парами, чем значения, которые получаются при измерениях на регенерационном участке максимальной длины.



*Примечание 1.* – Схема скрещивания № 1 предложена Администрацией Нидерландов в 1978 году.  
(См. Док. № 135 XV ИК, период 1977–1980 гг.).

*Примечание 2.* – Схема скрещивания № 2 предложена Администрацией ГДР.

*Примечание 3.* – Схемы скрещивания №№ 3, 4, 5 и 6 предложены Администрацией СССР.

РИСУНОК 1/G.614

### 2.3.3 Измерение переходного влияния на ближнем конце между парами одного кабеля или разных кабелей, предназначенных для передачи в разных направлениях

Это измерение производится либо между парами одного кабеля (в однокабельном режиме), либо между парами двух разных кабелей, предназначенных для передачи в разных направлениях (двухкабельный режим). Измерения выполняются как синусоидальным, так и импульсным методами.

### 3 Технические характеристики кабелей

Администрациям, которые решили использовать кабели, разработанные ранее и применявшимися для аналоговых систем передачи с числом каналов до 120, для цифровой передачи на скоростях 6–34 Мбит/с, рекомендуется выбирать кабели, характеристики которых указаны в таблицах 1/G.614 и 2/G.614.

## 3.1 Кабели, используемые для цифровых систем передачи на скоростях 6–8 Мбит/с в однокабельном режиме

См. таблицу 1/G.614.

ТАБЛИЦА 1/G.614

Характеристики	Требования		
	I (Приме- чание 1)	II (Приме- чание 1)	III (Приме- чание 1)
Тип кабеля			
Рабочая скорость передачи С (кбит/с)	8448	8448	8448
Линейный код	HDB-3	HDB-3	HDB-3
Скорость модуляции (кбод)	8448	8448	8448
Допустимое затухание регенерационного участка на частоте С/2 при максимальном использовании пар кабеля, когда направления передачи разнесены по разным четверкам (максимально допустимое значение) (дБ)	23	23	45 (Приме- чание 3)
Диаметр медной жилы (мм)	1,2	1,2	1,3
Прежний диапазон работы кабеля	HF	HF	AF, HF
Тип изоляции	PI	PI	PI, P
Число звездных четверок	4	7 (Приме- чание 2)	3, 4, 8
Волновое сопротивление на частоте 1 МГц (Ом)	165	165	170
Номинальная емкость (нФ/км)	24,5	24,5	21,0
Коэффициент затухания (дБ/км) при 10°C			
– на частоте 1 МГц	4,8	4,5	3,7
– на частоте С/2	10,6	9,7	8,0
Переходное влияние на ближнем конце на частоте С/2 (дБ)			
– среднее значение	48	50	50
– минимальное значение	34	34	44
Переходное влияние на дальнем конце между парами различных четверок (минимальное значение, отнесенное к 1000 м) (дБ)			
– на частоте 1 МГц	54	54	60
– на частоте С/2	42	42	48
Переходное влияние на дальнем конце между парами одной четверки (минимальное значение для регенерационного участка максимальной длины) (дБ)			
– на частоте 1 МГц	60	60	60
– на частоте С/2	43	43	48

*Примечание 1.* – Эти характеристики относятся к кабелям с алюминиевой оболочкой.*Примечание 2.* – Центральная четверка для цифровых систем передачи не используется.*Примечание 3.* – Регенераторы направления передачи В–А установлены в середине участка противоположного направления передачи А–В.

НГ ВЧ

АГ ТЧ

PI полистирольный кордель

P бумага

3.2 Кабели, используемые для цифровых систем передачи на скоростях 6–34,368 Мбит/с в двухкабельном режиме

См. таблицу 2/G.614.

ТАБЛИЦА 2/G.614

Характеристики Тип кабеля	Требования		
	I (Примечание 1)	II (Примечание 1)	III (Примечание 1)
Рабочая скорость передачи С (кбит/с)	8448	34 368	34 368
Линейный код	HDB-3	5B6B	5B6B
Скорость модуляции (кбод)	8448	41 242	41 242
Затухание регенерационного участка на частоте С/2, когда используются все пары кабеля (максимально допустимое значение), (дБ)	70	85	85
Диаметр медной жилы (мм)	1,2	1,2	1,3
Число звездных четверок	4	4	3, 4, 8
Волновое сопротивление на частоте 1 МГц (Ом)	165	165	170
Номинальная емкость (нФ/км)	24,5	24,5	21,0
Коэффициент затухания (дБ/км) при 10°C			
– на частоте 1 МГц	4,8	4,8	3,7
– на частоте С/2	10,6	24,0	17,0
Переходное влияние на дальнем конце между парами различных четверок (минимальное значение, отнесенное к 1000 м), (дБ)			
– на частоте 1 МГц	54	51	60
– на частоте 4 МГц	42	42	48
– на частоте 12 МГц	–	32	30
– на частоте 17 МГц	–	30	26
Переходное влияние на дальнем конце между парами одной четверки (минимальное значение для регенерационного участка максимальной длины), (дБ)			
– на частоте 1 МГц	42	–	60 (Примечание 3)
– на частоте 4 МГц	30	33 (Примечание 2)	48 (Примечание 3)
– на частоте 12 МГц	–	17 (Примечание 2)	27 (Примечание 3)
– на частоте 17 МГц	–	13 (Примечание 2)	17 (Примечание 3)

Примечание 1. – Эти характеристики относятся к кабелям с алюминиевой оболочкой.

Примечание 2. – Эти значения получены с помощью схемы скрещивания № 5 (см. рис. 1/G.614) для четырех строительных длин кабеля (0,825 км).

Примечание 3. – Эти значения получены с помощью схемы скрещивания № 1 (см. рис. 1/G.614).

## 6.2 Коаксиальные пары наземных кабелей

Коаксиальные кабели, описанные в нижеследующих Рекомендациях, могут использоваться для систем различных типов. Следующие таблицы иллюстрируют возможные применения различных пар.

ТАБЛИЦА 1

Кабели для аналоговых систем

Обозначение типов систем (МГц)	Типовая полоса частот (МГц)	Типы коаксиальных пар, возможные для применения (мм)
1,3	0,06–1,3	1,2/4,4
4 или 6	0,06–6	1,2/4,4 2,6/9,5
12 или 18	0,3–12 или 18	1,2/4,4 2,6/9,5
60	4–60	2,6/9,5

ТАБЛИЦА 2

Кабели для цифровых систем

Предполагаемое обозначение типов систем	Возможная ширина полосы (МГц)	Типичный пример скорости передачи системы (Мбит/с)	Типы коаксиальных пар, возможные для применения (мм)
Средняя скорость передачи	8,5	8	0,7/2,9
	35	34	0,7/2,9 1,2/4,4
Высокая скорость передачи	100	140	1,2/4,4 <sup>a)</sup> 2,6/9,5
Очень высокая скорость передачи	700	565	2,6/9,5

<sup>a)</sup> Для высокоскоростных систем передачи может быть применена гибридная схема, то есть несколько аналоговых усилителей включаются между каждым регенератором. В таком случае эффективную ширину полосы можно уменьшить (например, в пределах 35 МГц).

## ХАРАКТЕРИСТИКИ КОАКСИАЛЬНЫХ ПАР 0,7/2,9 мм

(Женева, 1976 г.; изменена в Женеве, 1980 г.)

Администрации, принявшие решение использовать коаксиальные пары с меньшими диаметрами, чем 1,2/4,4 мм, для цифровых систем передачи и для отдельных типов аналоговых систем передачи, должны по возможности выбирать пары, отвечающие требованиям, которые приведены в настоящей Рекомендации. Использование этих пар определено в таблицах 1 и 2 введения в подразделе 6.2.

## 1 Характеристики пар

## 1.1 Электрические характеристики коаксиальной пары

## 1.1.1 Волновое сопротивление

Номинальная величина действительной части волнового сопротивления на частоте 1 МГц должна быть равна 75 Ом.

Среднее значение действительной части волнового сопротивления коаксиальной пары на частоте 1 МГц не должно отличаться от номинального более чем на  $\pm 2,5$  Ом.

В таблице 1/G.621 показана общая зависимость волнового сопротивления от частоты.

ТАБЛИЦА 1/G.621

Среднее значение действительной части волнового сопротивления, измеренного на различных частотах

Частота (МГц)	0,2	0,5	1	2	5	10	20	$\infty$
Волновое сопротивление (Ом)	77,7	75,9	75	74,2	73,4	73	72,8	72,2

## 1.1.2 Коэффициент затухания

Номинальная величина коэффициента затухания при 10°C на частоте 1 МГц равна 8,9 дБ/км.

В таблице 2/G.621 показана общая тенденция изменения коэффициента затухания в зависимости от частоты при температуре 10°C.

ТАБЛИЦА 2/G.621

Среднее значение коэффициента затухания на различных частотах

Частота (МГц)	0,2	0,5	1	2	5	10	20
Коэффициент затухания (дБ/км)	4,5	6,5	8,9	12,6	19,8	28,0	39,6

## 1.2 Механическая конструкция коаксиальной пары

Пара имеет следующую конструкцию:

- a) номинальный диаметр внутреннего проводника, изготовленного из сплошной медной проволоки: 0,7 мм;
- b) номинальный внутренний диаметр внешнего проводника: 2,9 мм;

- c) внешний проводник, выполненный из медной ленты толщиной порядка 0,1 мм, накладываемой продольно внахлест<sup>1)</sup>;
- d) экран, выполненный из стальной ленты толщиной порядка 0,1 мм, накладываемой продольно внахлест<sup>1)</sup>.

## 2 Требования к кабелю (строительные длины порядка 500 м)

### 2.1 Волновое сопротивление

Чтобы убедиться в выполнении требования § 1.1.1, можно провести измерения с помощью импульсных сигналов. За среднее значение действительной части волнового сопротивления на частоте 1 МГц принимается резистивная составляющая полного сопротивления на частоте 1 МГц балансного контура, который наилучшим образом согласован с измеряемой коаксиальной парой.

### 2.2 Однородность волнового сопротивления

Обычные контрольные измерения однородности волнового сопротивления выполняются с помощью импульсных эхометров с одного или с обоих концов строительных длин. Кривую эха следует вычерчивать с коррекцией амплитуды, а по возможности — амплитуды и фазы.

В таблице 3/G.621 представлены различные значения, которые необходимо получить в соответствии с назначением данного кабеля.

ТАБЛИЦА 3/G.621  
Эхометрическое измерение строительных длин<sup>a)</sup>

Тип системы	Цифровая		
Скорость передачи	Средняя скорость передачи (6–34 Мбит/с)		
Максимальная длительность импульса	100 нс		
Общие требования	Максимальный пик	100%	36 дБ
		95%	39 дБ
Дополнительные возможные требования a)	A	Среднее значение трех максимальных пиков	39 дБ
	B	Эквивалентное отклонение сопротивления	

a) Достаточно проверить выполнение одного из требований: А или В.

*Примечание 1.* – Приведенные в таблице цифры, выраженные в процентах, относятся ко всем парам кабелей партии, предъявленной для проверки или поставки.

*Примечание 2.* – При использовании техники конструирования, которая применялась до сих пор, систематические погрешности измерений затухания неоднородности в установившемся режиме не вызывают возрастания пиков на частотах ниже 60 МГц. По этой причине с учетом предусмотренной скорости передачи в указанных измерениях нет необходимости. Для конструкций других типов, которые могут найти применение в будущем, контроль затухания неоднородности может оказаться нужным; в таком случае эта величина должна составлять 20 дБ на частотах 4–60 МГц.

### 2.3 Коэффициент затухания

Затухание пар должно соответствовать указаниям § 3.3, ниже<sup>2)</sup>.

<sup>1)</sup> В качестве внешнего проводника и экрана может применяться также одна биметаллическая лента типа медь-сталь-медь.

<sup>2)</sup> В современном производстве измерения затухания представляют собой просто измерения прототипа.

## 2.4 Переходное затухание на ближнем конце

Переходное затухание на ближнем конце между коаксиальными парами, предназначенными для различных направлений передачи, которое измерено на строительных длинах кабеля в полосе частот от 0,5 до 20 МГц, должно быть выше 135 дБ для 100% измерений.

## 2.5 Прочность изоляции

Пара должна выдерживать переменное напряжение 1000 В эффе частотой 50 Гц (или постоянное напряжение 1500 В), которое приложено, по крайней мере, в течение 1 мин. между внутренним и внешним проводниками.

Если при нормальной эксплуатации внешние проводники коаксиальных пар не заземляются, то испытание электрической прочности должно проводиться между внешними проводниками и заземленной металлической оболочкой. В этом случае эффективное значение напряжения частотой 50 Гц должно быть не менее 2000 В, а постоянное напряжение — не менее 3000 В.

## 2.6 Сопротивление изоляции

Сопротивление изоляции между внутренним и внешним проводниками коаксиальной пары, измеренное при полностью установившемся напряжении от 100 до 500 В, должно быть не менее 10 000 МОм/км после включения напряжения в течение 1 мин. при температуре не ниже 15°C. Измерение сопротивления изоляции должно проводиться после измерения прочности изоляции. Это измерение должно проводиться на каждой строительной длине.

## 3 Требования к элементарному кабельному участку

В зависимости от соглашения между Администрациями и поставщиком испытания должны проводиться либо на всех участках, либо на некотором проценте участков, либо достаточно приемо-сдаточных испытаний, особенно в случае измерений, которые трудно проводить в условиях эксплуатации.

### 3.1 Среднее значение волнового сопротивления

Среднее значение действительной части волнового сопротивления коаксиальной пары на частоте 1 МГц не должно отличаться от номинальной величины (см. § 1.1.1) больше, чем на 3 Ом. Измерения должны выполняться в соответствии с § 2.1.

### 3.2 Однородность волнового сопротивления

Измерения должны выполняться в соответствии с § 2.2, выше. В таблице 4/G.621 приведены различные значения, которые необходимо получить в соответствии с назначением данного кабеля. Остается справедливым примечание 1 к § 2.2.

ТАБЛИЦА 4/G.621

Эхометрическое измерение элементарных кабельных участков

Тип системы	Цифровая		
Скорость передачи	Средняя скорость передачи (6–34 Мбит/с)		
Максимальная длительность импульса	100 нс		
Общие требования	Максимальный пик	100%	30 дБ
		95%	33 дБ
Дополнительные возможные требования <sup>a)</sup>	A	Среднее значение трех максимальных пиков	33 дБ
	B	Эквивалентное отклонение сопротивления	

<sup>a)</sup> Достаточно проверить выполнение одного из требований: A или B.

### 3.3 Коэффициент затухания

На частоте 1 МГц фактическое значение коэффициента затухания не должно отличаться от номинального, как это указано в § 1.1.1, более чем на  $\pm 0,4$  дБ.

Затухание, измеренное в кабеле при средней температуре  $t^{\circ}\text{C}$ , приводится к  $10^{\circ}\text{C}$  по следующей формуле:

$$a_{10} = a \frac{1}{1 + k_a(t - 10)}.$$

Коэффициент  $k_a$  изменения затухания в зависимости от температуры составляет примерно  $1,8 \times 10^{-3}$  на  $1^{\circ}\text{C}$  на частотах выше 2 МГц и примерно  $1,9 \times 10^{-3}$  на  $1^{\circ}\text{C}$  на частоте 1 МГц.

### 3.4 Переходное влияние

Переходное влияние на ближнем конце между коаксиальными парами, предназначенными для различных направлений передачи, которое измерено в диапазоне частот от 0,5 до 20 МГц на участках длиной 2 и 4 км, не должно быть выше 130 дБ.

### 3.5 Прочность изоляции

Пара должна выдерживать постоянное напряжение не менее 1000 В, которое приложено, по крайней мере, в течение 1 мин. между внутренним и внешним проводниками.

Кроме того, испытание прочности изоляции между коаксиальной парой и землей должно проводиться, как описано в § 2.5; при этом должно использоваться постоянное напряжение не ниже 2000 В, которое прикладывается в течение 1 мин.

### 3.6 Сопротивление изоляции

Сопротивление изоляции между внутренним и внешним проводниками коаксиальной пары, измеренное при полностью установленном постоянном напряжении от 100 до 500 В, должно быть не менее 5000 МОм/км после включения напряжения в течение 1 мин. Измерение сопротивления изоляции должно проводиться после испытания прочности изоляции. Это измерение должно проводиться на каждом элементарном кабельном участке.

## Рекомендация G.622

### ХАРАКТЕРИСТИКИ КОАКСИАЛЬНЫХ ПАР 1,2/4,4 мм

(прежняя Рекомендация G.342; с последующими изменениями)

В настоящей Рекомендации описана коаксиальная пара 1,2/4,4 мм, рекомендованная МККТТ для международной связи. Применение этой пары описано в таблицах 1 и 2 введения в подразделе 6.2. Когда предусматривается возможность телевизионной или цифровой передачи, это специально оговаривается в каждом требовании.

#### 1 Характеристики пары

##### 1.1 Электрические характеристики коаксиальной пары

###### 1.1.1 Волновое сопротивление

Номинальное значение действительной части волнового сопротивления равно 75 Ом на частоте 1 МГц.

Допуск составляет  $\pm 1,5$  Ом для телевизионной передачи или  $\pm 1$  Ом для пар, которые могут быть использованы для передачи телевидения.

Для информации в таблице 1/G.622 приведены величины волнового сопротивления, полученные на различных частотах для коаксиальных пар, которые изготовлены по различной технологии.

ТАБЛИЦА 1/G.622

Среднее значение действительной части волнового сопротивления, измеренное на различных частотах

Частота (МГц)	0,06	0,1	0,2	0,5	1	1,3	4,5	12	18
Волновое сопротивление (Ом)	79,8	78,9	77,4	75,8	75	74,8	74	73,6	73,5

### 1.1.2 Коэффициент затухания

На частоте 12 МГц и при температуре 10°С номинальное значение коэффициента затухания составляет  $18,0 \pm 0,4$  дБ/км.

В таблице 2/G.622 показана общая тенденция измерения коэффициента затухания в зависимости от частоты для всех пар, удовлетворяющих данной Рекомендации.

ТАБЛИЦА 2/G.622

Номинальное значение коэффициента затухания на различных частотах

Частота (МГц)	0,06	0,1	0,3	0,5	1	1,3	4,5	12	18
Коэффициент затухания (дБ/км)	1,5	1,8	2,9	3,7	5,3	6,0	11	18	22

Следующее уравнение, в котором  $\alpha$  выражена в дБ/км, а  $f$  — в МГц, дает аппроксимацию коэффициента затухания для частот 2 МГц и выше:

$$\alpha = 0,07 + 5,15 \sqrt{f} + 0,005f.$$

*Примечание.* — В качестве информации в приложении А указаны величины, которые измерены или определены в технических требованиях различных стран, вместе с допусками. В любом случае при разработке усилителя следует исходить из величин, измеренных на кабеле того типа, который будет в действительности использоваться.

### 1.1.3 Частотные искажения

Частотные искажения, требуемые, в частности, при цифровой передаче, проверяются путем вычисления отношения  $\frac{\alpha_{f_1}}{\alpha_{f_2}}$  между величинами затухания  $\alpha_{f_1}$  и  $\alpha_{f_2}$ , которые измерены на частотах  $f_1$  и  $f_2$ .

Должно соблюдаться одно из трех следующих условий<sup>1)</sup>:

$$\frac{\alpha_{16 \text{ МГц}}}{\alpha_{4 \text{ МГц}}} \leq 2,005$$

$$\frac{\alpha_{24 \text{ МГц}}}{\alpha_{6 \text{ МГц}}} \leq 2,009$$

$$\frac{\alpha_{48 \text{ МГц}}}{\alpha_{12 \text{ МГц}}} \leq 2,016.$$

Частотные искажения проверяются в заводских условиях на небольшом числе (в %) строительных длин кабеля.

<sup>1)</sup> Эти три условия эквивалентны. Поэтому для проверки величины частотных искажений необходимо применять только одно из них.

## 1.2 Механические конструкции коаксиальной пары

Номинальные размеры таковы:

- диаметр внутреннего сплошного медного проводника: 1,2 мм;
- внутренний диаметр внешнего проводника: 4,4 мм.

Цилиндрический внешний проводник выполнен из медной ленты толщиной 0,15 или 0,18 мм.

## 2 Требования к кабелю

### 2.1 Волновое сопротивление

Чтобы убедиться в выполнении требования § 1.1.1, выше, можно выполнить измерения с помощью импульсных сигналов. За среднее значение действительной части волнового сопротивления на частоте 1 МГц принимается резистивная составляющая полного сопротивления на частоте 1 МГц балансного контура, который наилучшим образом согласован с измеряемой коаксиальной парой.

### 2.2 Однородность волнового сопротивления

Обычные контрольные измерения однородности волнового сопротивления выполняются с помощью импульсных эхометров с одного или с обоих концов строительных длин. Кривую эха следует вычерчивать с коррекцией амплитуды, а по возможности — амплитуды и фазы. При измерении эквивалентного отклонения сопротивления коррекция обязательна. Однако при обычных измерениях можно обойтись без коррекции, если испытуемая длина имеет малую протяженность и, следовательно, требует незначительной коррекции.

В таблице 3/G.622 представлены различные значения, которые необходимо получить в соответствии с назначением данного кабеля.

ТАБЛИЦА 3/G.622

Эхометрическое измерение строительных длин

Тип системы			Аналоговая		Цифровая	
Диапазон частот или скорость передачи			0,06-6 МГц	0,3-20 МГц	Средняя скорость передачи (6-34 Мбит/с)	Высокая скорость передачи (140 Мбит/с)
Максимальная длительность импульса			100 нс	50 нс	50 нс	10 нс
Общие требования	Максимальный пик	100%	45 дБ	48 дБ	48 дБ	48 дБ
		95%	50 дБ	50 дБ	50 дБ	49 дБ
Дополнительные возможные <sup>a)</sup> требования	A	Среднее значение трех максимальных пиков	48 дБ	51 дБ	51 дБ	47 дБ
	B	Эквивалентное отклонение сопротивления	1,2 Ом	1,6 Ом	1,6 Ом	2,5 Ом

a) Достаточно проверить выполнение одного из требований: A или B.

Примечание 1. – Для аналоговых систем с полосой частот 0,06–1,3 МГц требования те же, что и для аналоговых систем с полосой частот 0,06–6 МГц.

Примечание 2. – Для обнаружения систематических неоднородностей измерения затухания отражения следует проводить на небольшой части строительных длин. Предельные значения приведены в таблице 4/G.622.

Примечание 3. – Приведенные в таблице цифры, выраженные в процентах, относятся ко всем парам кабелей партии, которая предъявлена для проверки или поставки.

ТАБЛИЦА 4/G.622  
Затухание отражения вследствие неоднородностей

Тип системы		Цифровая	
Диапазон частот или скорость передачи		Средняя скорость передачи (6–34 Мбит/с)	Высокая скорость передачи (140 Мбит/с)
Процент проверяемых длин		порядка 5%	порядка 5%
Рассматриваемая полоса частот		1-40 МГц	20-100 МГц
Минимальное измеренное значение	100%	20 дБ	20 дБ
	95%	23 дБ	23 дБ

### 2.3 Коэффициент затухания

Затухание пар должно соответствовать указаниям § 3.3, ниже<sup>2)</sup>.

Если измерения отнесены к длине образующей оболочки кабеля, то коэффициент затухания необходимо умножить на коэффициент укрутки, значения которого приведены в таблице 5/G.622 для разного числа пар, содержащихся в кабеле.

ТАБЛИЦА 5/G.622  
Значения коэффициента укрутки

Число пар в кабеле	Коэффициент укрутки, последний повив	Взвешенный коэффициент укрутки, весь кабель
4 или 6		1,002
8		1,003
12-18	1,004	1,003
24	1,005	1,004
48	1,008	1,006

### 2.4 Переходное влияние

Переходное влияние между парами должно соответствовать требованиям § 3.4, ниже<sup>2)</sup>.

<sup>2)</sup> В современном производстве измерения затухания и переходных влияний представляют собой просто измерения прототипа.

## 2.5 Прочность изоляции

Коаксиальная пара должна выдерживать напряжение 1000 В эфф переменного тока частотой 50 Гц (или 1500 В постоянного тока), которое приложено в течение не менее 1 мин. между внутренним и внешним проводниками.

Если при нормальной работе внешние проводники коаксиальной пары не заземляются, испытания электрической прочности проводятся между внешними проводниками и заземленной металлической оболочкой. Жилы вспомогательных четверок или пар кабеля соединяются с внешними проводниками коаксиальных пар или с оболочкой в соответствии с характером использования этих четверок или пар. При этих условиях прикладывается напряжение не менее 2000 В эфф переменного тока частотой 50 Гц в течение не менее 1 мин. (или напряжение постоянного тока не менее 3000 В).

*Примечание.* — Рекомендованные величины напряжения учитывают нормальные запасы по безопасности, которые приняты в различных странах. Однако полиэтиленовая изоляция может выдерживать значительно более высокие напряжения. Возможно, в будущем найдут применение некоторые другие диэлектрики.

## 2.6 Сопротивление изоляции

Сопротивление изоляции между внутренним и внешним проводниками коаксиальной пары, которое измерено при полностью установившемся напряжении в пределах от 100 до 500 В, должно быть не менее 5000 МОм/км после включения напряжения в течение 1 мин. при температуре не ниже 15°С. Измерение сопротивления изоляции должно проводиться после испытания прочности изоляции. Это измерение должно выполняться на каждой строительной длине.

# 3 Требования к элементарному кабельному участку

## 3.1 Концевое значение волнового сопротивления

Применимы требования, которые изложены в §§ 1.1.1 и 2.1, выше.

## 3.2 Однородность волнового сопротивления

Измерения однородности волнового сопротивления выполняются с каждого конца элементарного кабельного участка. Следует обращаться к одному из столбцов таблицы 6/G.622, в зависимости от назначения данного кабеля.

## 3.3 Коэффициент затухания

На частоте 1 МГц фактический коэффициент затухания не должен отличаться от номинального более чем на  $\pm 0,2$  дБ.

Затухание, измеренное в кабеле при средней  $t^{\circ}\text{C}$ , приводится к  $10^{\circ}\text{C}$  с помощью формулы:

$$a_{10} = a_t \frac{1}{1 + k_a(t - 10)}.$$

Коэффициент  $k_a$  измерения затухания в зависимости от температуры составляет примерно  $2 \times 10^{-3}$  на  $1^{\circ}\text{C}$  на частотах 500 кГц и выше. Он незначительно возрастает на более низких частотах (порядка  $2,8 \times 10^{-3}$  на  $1^{\circ}\text{C}$  на частоте 60 кГц).

## 3.4 Переходное влияние

Защищенность от переходного влияния на дальнем конце между двумя коаксиальными парами в кабеле при передаче в одном направлении на любой частоте фактически передаваемой полосы частот не должна быть меньше величин, приведенных в таблице 7/G.622.

ТАБЛИЦА 6/G.622

Эхометрическое измерение элементарных кабельных участков<sup>a)</sup>

Тип системы			Аналоговая		Цифровая	
Диапазон частот или скорость передачи			0,06-6 МГц	0,3-20 МГц	Средняя скорость передачи (6-34 Мбит/с)	Высокая скорость передачи (140 Мбит/с)
Максимальная длительность импульса			200 нс	100 нс	100 нс	50 нс
Общие требования	Максимальный пик	100%	42 дБ	42 дБ	42 дБ	40 дБ
		95%	46 дБ	46 дБ	46 дБ	44 дБ
Дополнительные возможные требования <sup>a)</sup>	Эквивалентное отклонение сопротивления	A	Среднее значение трех максимальных пиков. Максимальное без коррекции	45 дБ 48 дБ	45 дБ 48 дБ	45 дБ 48 дБ
		B	С коррекцией по энергии ( $\Omega \cdot \text{км}^{-\frac{1}{2}}$ )	2	2,5	2,5
		C	Без коррекции(Ом)	1,8	2,0	2,0

<sup>a)</sup> Достаточно проверить выполнение одного из требований: A, B или C.

*Примечание 1.* – Остаются справедливыми примечания 1 и 2 к таблице 3/G.622. Для аналоговых систем с полосой частот 0,06–1,3 МГц применимы значения, указанные в столбце для системы с полосой частот 0,06–6 МГц, однако длительность импульса для элементарных кабельных участков протяженностью свыше 4 км может составлять 400 нс.

*Примечание 2.* – Выполнять измерения с помощью синусоидальных сигналов необязательно, если не имеется серьезных оснований опасаться возможности внесения систематических неоднородностей при прокладке или монтаже кабеля. В подобных случаях результаты измерений должны быть не менее 20 дБ.

ТАБЛИЦА 7/G.622

Минимальная защищенность на дальнем конце между двумя коаксиальными парами 1,2/4,4 мм

Длина элементарного кабельного участка (км)	Защищенность на дальнем конце (дБ)	
	Без инверсии фазы	С инверсией фазы в усилителях
8	87	–
6	89	80
4	93	–
3	95	83
2	99	–

Нет необходимости определять величину защищенности на ближнем конце, если для защищенности на дальнем конце приняты первые из указанных выше величин.

Если применяется инверсия фазы, то защищенность на ближнем конце для пар противоположных направлений передачи должна быть не менее 84 дБ для элементарного кабельного участка длиной порядка 6 км и 87 дБ для элементарного кабельного участка длиной порядка 3 км.

*Примечание.* — Эти предельные значения позволяют получить защищенность 65 дБ на дальнем конце наихудшего однородного участка длиной 280 км; при этом допускается, что на рассматриваемых частотах может приниматься в расчет только переходное влияние, которое обусловлено кабелем<sup>3)</sup>. Предполагается, что изменение минимальной защищенности на дальнем конце в зависимости от длины приблизительно следует закону 20 дБ/декаду для длин меньше предельной длины  $L_1$  и закону 10 дБ/декаду для длин больше  $L_1$ . Значение зависит от нескольких факторов, главным образом от используемой системы, типа кабеля и рассматриваемой частоты. Длина 30 км в большинстве случаев будет вполне приемлемой, хотя на практике возможен диапазон значений  $L_1$  от нескольких километров до 30 км, гарантирующий совместимость с предельными значениями, которые указаны в таблице 7/G.622, при предельном значении 65 дБ для участка длиной 280 км.

### 3.5 Прочность изоляции

Коаксиальная пара должна выдерживать напряжение постоянного тока не менее 1000 В, приложенное в течение не менее 1 мин. между внутренним и внешним проводниками.

Кроме того, должно производиться испытание электрической прочности между коаксиальной парой и землей, как это описано в § 2.5, при использовании напряжения постоянного тока не менее 2000 В, приложенного в течение 1 мин.

*Примечание.* — Рекомендованные испытательные напряжения учитывают нормальные запасы по безопасности, принятые в различных странах. Однако полиэтиленовая изоляция может надежно выдерживать значительно более высокие испытательные напряжения. Во всяком случае, в будущем можно ожидать, что применение найдут и другие диэлектрики.

### 3.6 Сопротивление изоляции

Сопротивление изоляции между внутренним и внешним проводниками коаксиальной пары, измеренное при полностью установившемся напряжении в пределах от 100 до 500 В, должно быть не менее 5000 МОм/км после включения напряжения в течение 1 мин. Измерение сопротивления изоляции должно проводиться после испытания прочности изоляции. Это измерение должно выполняться на каждом элементарном кабельном участке.

## ПРИЛОЖЕНИЕ А

(к Рекомендации G.622)

Примеры измеренных или вычисленных значений коэффициента затухания в разных странах

(Значения даны для информации)

ТАБЛИЦА А-1/G.622

Величины, измеренные на паре с толщиной внешнего проводника 0,15 мм

Частота (МГц)	0,060	0,1	0,3	0,5	1	4	12	18	52
Затухание (дБ/км)	1,54	1,85	2,89	3,67	5,21	10,4	18,0	22,0	37,5
Допустимое отклонение (дБ/км)	± 0,1	± 0,1	± 0,1	± 0,1	± 0,1	± 0,1	± 0,2	± 0,2	± 0,5
Температурный коэффициент	0,0028	0,0026	0,0024	0,00225	0,0020	0,0020	0,0020	0,0020	0,0020

<sup>3)</sup> На практике можно пренебречь влиянием линейной аппаратуры на занятый переходный разговор, но это справедливо только для низких частот (ниже 300 кГц).

ТАБЛИЦА А-2/G.622

Величины, определяемые техническими требованиями некоторых стран для пары с толщиной внешнего проводника 0,18 мм

Частота (МГц)	60	100	200	300	500	700	1000	1300	4500
Заданное затухание (дБ/км)	1,49	1,80	2,42	2,91	3,73	4,43	5,30	6,05	11,2
Допустимое отклонение (дБ/км)	± 0,1	± 0,1	a)	a)	a)	a)	± 0,2	± 0,2	± 0,2

a) Техническими требованиями не задано.

## Рекомендация G.623

### ХАРАКТЕРИСТИКИ КОАКСИАЛЬНЫХ ПАР 2,6/9,5 мм

(прежняя Рекомендация G.331; с последующими изменениями)

#### 1 Характеристики пары

На всей международной сети необходимо иметь однотипные коаксиальные пары с одинаковыми электрическими характеристиками, чтобы обеспечить системам передачи возможность работать на любом кабеле, который удовлетворяет требованиям настоящей Рекомендации. Применение этих пар определяется таблицами 1/G.623 и 2/G.623, которые приведены в введении к § 6.2.

##### 1.1 Электрические характеристики коаксиальной пары

###### 1.1.1 Волновое сопротивление

Волновое сопротивление коаксиальной пары подчиняется четко определенному закону зависимости от частоты, а именно:

$$Z = 74,4 \left[ 1 + \frac{0,0123}{\sqrt{f}} (1 - j) \right] \text{ Ом},$$

где  $f$  — частота, измеренная в МГц<sup>1)</sup>. Поэтому нет смысла определять значения на всех частотах.

Цифра 74,4 Ом (волновое сопротивление на частоте, равной бесконечности) имеет допуск ± 1 Ом.

###### 1.1.2 Коэффициент затухания

Номинальный коэффициент затухания коаксиальной пары на частоте 60 МГц при температуре 10° С должен находиться в пределах 18,00 ± 0,3 дБ/км<sup>2)</sup>.

Зависимость затухания от частоты при номинальном значении 18,00 дБ/км на частоте 60 МГц указана в таблице 1/G.623.

<sup>1)</sup> Эта формула эквивалентна формуле  $Z = 74,4 + (0,92/\sqrt{f}) (1 - j)$  Ом. При ее применении необходимо использовать поправочный коэффициент к допуску, который указан в тексте.

<sup>2)</sup> По соображениям внутреннего порядка некоторые Администрации считают целесообразным применять пары больших диаметров с меньшим затуханием, получая возможность использования более длинных усилительных участков (2 км). Кабели, в состав которых входят эти пары, могут рассматриваться как удовлетворяющие настоящей Рекомендации для систем передачи с предельной частотой 60 МГц, если электрические характеристики усилительных участков, организованных по этим кабелям, удовлетворяют настоящей Рекомендации и если линейная аппаратура будет в точности аналогична аппаратуре, используемой на кабелях, которые рассматриваются в настоящей Рекомендации. Пары 3,7/13,5 мм Администрации Франции, описанные в [1], относятся к этой категории.

ТАБЛИЦА 1/G.623  
Номинальный коэффициент затухания на различных частотах

Частота (МГц)	0,06	0,3	1	4	12	20	40	60	150	300
Затухание (дБ/км)	0,59	1,27	2,32	4,62	8,01	10,35	14,67	18,00	28,6	40,7

Приводимое ниже уравнение, в котором  $a$  выражается в дБ/км и  $f$  в МГц, дает аппроксимацию коэффициента затухания на частотах, начиная с 1 МГц:

$$a = 0,01 + 2,3\sqrt{f} + 0,003f.$$

*Примечание.* — При расчете усилителей следует ориентироваться на величины, измеренные на том кабеле, который должен использоваться.

#### 1.1.3 Допуски на коэффициент затухания – Частотные искажения

Чтобы обеспечить надлежащее согласование между коаксиальной парой и аппаратурой передачи, помимо допусков на частоте 60 МГц, определенных как  $\pm 0,3$  дБ/км, необходимо также установить пределы частотных искажений в зависимости от частоты.

В таблице 2/G.623 приведены номинальные значения и допуски для величины  $\delta_f$  (в мБ · км<sup>-1</sup> · МГц<sup>-1/2</sup>)

$$\delta_f = \frac{a_{60}}{\sqrt{60}} - \frac{a_f}{\sqrt{f}}$$

на различных частотах ( $f$  в МГц).

ТАБЛИЦА 2/G.623  
Номинальные значения и допуски для величины  $\delta_f$ , характеризующей  
частотное искажение на различных частотах

Частота (МГц)	4	12	20	40	60
Номинальное значение	1,1	1	0,8	0,4	0
Допуски	$\pm 1,5$	$\pm 1,1$	$\pm 0,8$	$\pm 0,4$	$\pm 0$

Для проверки частотных искажений за пределами 60 МГц, что требуется, в частности, для цифровой передачи, необходимо вычислить отношение между величинами затухания, измеренными на частотах 240 МГц и 60 МГц (после исключения всех пиков). Условие, которое следует соблюдать, таково:

$$\frac{a_{240 \text{ МГц}}}{a_{60 \text{ МГц}}} \leq 2,045.$$

Частотные искажения проверяются в заводских условиях на небольшом числе (в %) строительных длин кабеля.

#### 1.2 Механическая конструкция коаксиальных пар

- a) Внутренний проводник выполнен из сплошной медной проволоки диаметром 2,6 мм.
- b) Изоляция выполнена таким образом, что диэлектрическая проницаемость комбинации газа и сплошного диэлектрика с малыми потерями достаточно низка для того, чтобы настоящие технические требования были удовлетворены.

- c) Внешний проводник выполнен из медной ленты толщиной 0,25 мм в форме трубки с внутренним диаметром 9,5 мм, наложенной поверх изоляции.
- d) Во избежание переходных влияний на внешний проводник следует накладывать ленты из мягкой стали.

Некоторые Администрации используют кабель с такими же электрическими характеристиками, но с диаметром внутреннего медного проводника 2,8 мм и с внутренним диаметром внешнего алюминиевого проводника 10,2 мм. Подробное описание конструкции такого типа приведено в приложении А.

## 2 Технические требования к кабелю

### 2.1 Волновое сопротивление

Проверить выполнение величины, указанной в § 1.1.1, выше, можно с помощью измерений синусоидальным сигналом или с помощью импульсных измерений.

При измерениях синусоидальным сигналом результаты часто выражаются с помощью плавной кривой зависимости волнового сопротивления от частоты.

При импульсных измерениях необходимо использовать синус-квадратичный импульс с длительностью на уровне половины амплитуды менее 100 нс. Можно либо уравновешивать волновое сопротивление переменным эталонным, либо измерять коэффициент отражения по отношению к фиксированному эталону.

### 2.2 Однородность волнового сопротивления

Обычные контрольные измерения однородности волнового сопротивления выполняются с помощью импульсных эхометров с одного или с обоих концов строительных длин. Кривую эха следует вычерчивать с коррекцией амплитуды, а по возможности — амплитуды и фазы. При измерении эквивалентного отклонения коррекция обязательна. Однако при обычных измерениях можно обойтись без коррекции, если испытуемая длина имеет малую протяженность и, следовательно, требует незначительной коррекции.

В таблице 3/G.623 представлены различные значения, которые необходимо получить в соответствии с назначением данного кабеля.

**Примечание 1.** — Для аналоговых систем с полосой частот 0,06–6 МГц требования те же, что и для аналоговых систем с полосой частот 0,3–20 МГц.

**Примечание 2.** — Для обнаружения систематических неоднородностей измерения затухания отражения следует проводить на небольшой части строительных длин. Предельные значения приведены в таблице 4/G.623.

**Примечание 3.** — Приведенные в таблицах цифры, выраженные в процентах, относятся ко всем парам партии кабелей, одновременно представленной для проверки или для поставки.

ТАБЛИЦА 3/G.623  
Эхометрическое измерение строительных длин

Тип системы			Аналоговая		Цифровая	
Диапазон частот или скорость передачи			0,3-20 МГц	4-70 МГц	Высокая скорость передачи (140 Мбит/с)	Очень высокая скорость передачи (565 Мбит/с)
Максимальная длительность импульса			50 нс	10 нс	10 нс	10 нс <sup>a)</sup>
Общие требования	Максимальный пик		100%	50 дБ	48 дБ	48 дБ
			95%	56 дБ	54 дБ <sup>b)</sup>	54 дБ <sup>b)</sup>
Дополнительные возможные требования <sup>c)</sup>	A	Среднее значение трёх максимальных пиков	53 дБ	51 дБ	51 дБ	
	B	Эквивалентное отклонение сопротивления	$L < 300 \text{ м}$ $300 \leq L \leq 500 \text{ м}$ $L > 500 \text{ м}$	0,6 Ом 0,8 Ом 0,8 Ом	1 Ом 1,2 Ом 1,6 Ом	1 Ом 1,2 Ом 1,6 Ом

ТАБЛИЦА 4/G.623

## Измерение строительных длин с помощью синусоидальных сигналов

Тип системы	Аналоговая		Цифровая	
Диапазон частот или скорость передачи	0,3-20 МГц	4-70 МГц	Высокая <sup>d)</sup>	Очень высокая
<b>Затухание отражения вследствие неоднородностей</b>				
Процент проверяемых длин	нет	порядка 5%	порядка 5%	порядка 5%
Рассматриваемая полоса частот		4-62 МГц	20-100 МГц	62-500 МГц
Минимальное измеренное значение	100%		35 дБ	30 дБ
	95%		38 дБ	
<b>Средняя отраженная мощность в полосе частот 10 МГц (Передача сигналов телевидения в системе с предельной полосой частот 60 МГц)</b>				
Рассматриваемая полоса частот	нет	52-62 МГц		
Средний коэффициент отражения мощности	$L \approx 250$ м		41 дБ	35 дБ
	$L > 500$ м		40 дБ	28 дБ

## Примечания к таблицам 3/G.623 и 4/G.623

- a) Если исследования показывают, что требуется проведение измерений с импульсами меньшей длительности, то следует использовать длительность порядка 2 нс.
- b) При условии, что между 48 и 54 дБ не встретится более одного значения в одной и той же коаксиальной паре элементарного кабельного участка.
- c) Достаточно проверить выполнение одного из двух требований: А или В.
- d) Полностью подходят требования на аналоговую систему передачи 4-70 МГц. Однако были предложены и гораздо более низкие значения. Необходимо согласовывать величины, которые должны быть приняты за нормы, и частотную полосу, подлежащую рассмотрению (4-100 МГц или 62-500 МГц).

## 2.3 Коэффициент затухания

Затухание пар должно соответствовать требованиям § 3.3, ниже<sup>3)</sup>.

Если измерения отнесены к длине образующей оболочки кабеля, то коэффициент затухания необходимо умножить на коэффициент укрутики, значения которого приведены в таблице 5/G.623.

ТАБЛИЦА 5/G.623

Значения коэффициента укрутики

Число пар в кабеле	Коэффициент укрутики, последний повив	Взвешенный коэффициент укрутики, весь кабель
4 или 6		1,003
8		1,005
12	1,009	1,007
18 или 20	1,012	1,010

## 2.4 Переходное влияние

Переходное влияние между парами должно соответствовать требованиям § 3.4, ниже<sup>3)</sup>.

## 2.5 Прочность изоляции

Пара должна выдерживать напряжение 2000 В эфф переменного тока (или 3000 В постоянного тока), приложенное в течение 1 мин. между внутренним и внешним, связанными с оболочкой, проводниками. Электрическая прочность должна проверяться на каждой строительной длине.

## 2.6 Сопротивление изоляции

Сопротивление изоляции между внутренним и внешним проводниками коаксиальной пары, измеренное при полностью установленном напряжении в пределах от 100 до 500 В, должно составлять не менее 5000 МОм/км после включения напряжения в течение 1 мин. при температуре не ниже 15°C. Измерение сопротивления изоляции должно выполняться после испытания прочности изоляции. Это измерение должно выполняться на каждой строительной длине.

## 3 Элементарный кабельный участок

В зависимости от соглашения между Администрациями и поставщиком испытания должны проводиться либо на всех участках, либо на некоторой их части, иногда даже достаточно приемо-сдаточных испытаний, особенно в случае измерений, которые трудно проводить в условиях эксплуатации.

### 3.1 Концевые значения волнового сопротивления

Применимы требования, изложенные в §§ 1.1.1 и 2.1, выше.

<sup>3)</sup> В современном производстве измерения затухания и переходного влияния представляют собой просто измерение прототипа.

### 3.2 Однородность волнового сопротивления

Измерения однородности волнового сопротивления проводятся с каждого конца элементарного кабельного участка. Следует справляться с одним из столбцов таблицы 6/G.623 в зависимости от назначения данного кабеля.

*Примечание 1.* – Остаются справедливыми примечания 1 и 3 к таблице 3/G.623 (см. § 2.2). Для аналоговых систем с полосой частот 0,06–6 МГц применимы значения из столбца для 0,3–20 МГц; для элементарного кабельного участка длиной выше 5 км длительность импульса может достигать 200 нс.

*Примечание 2.* – Измерения с помощью синусоидального сигнала на элементарных кабельных участках проводить необязательно, если не имеется серьезных оснований считать, что систематические неоднородности могут вноситься при прокладке или монтаже кабеля. В таких случаях результаты измерений для полосы частот от 4–62 МГц должны быть не меньше 33 дБ.

### 3.3 Коэффициент затухания

Для кабеля конкретного изготовления с номинальным коэффициентом затухания, который определяется заданными в § 1.1.2, выше, предельными значениями, разность между максимальным и минимальным значениями коэффициента затухания, измеренными на частоте 60 МГц на коаксиальных парах всех элементарных кабельных участков длиной 1,5 км, должна быть ниже 0,4 дБ/км при температуре 10°С.

Затухание, измеренное в кабеле при средней температуре  $t^{\circ}\text{C}$ , приводится к 10°С с помощью формулы

$$a_{10} = a_t \frac{1}{1 + k_a(t - 10)}.$$

ТАБЛИЦА 6/G.623

Эхометрическое измерение элементарных кабельных участков

Тип системы			Аналоговая		Цифровая	
Диапазон частот или скорость передачи			0,3-20 МГц	4-70 МГц	Высокая скорость передачи (140 Мбит/с)	Очень высокая скорость передачи (565 Мбит/с)
Максимальная длительность импульса			50 нс	10 нс	10 нс <sup>a)</sup>	10 нс <sup>a)</sup>
Общие требования	Максимальный пик	100%	50 дБ	46 дБ	46 дБ	46 дБ
		95%		50 дБ	50 дБ	50 дБ
Дополнительные возможные требования <sup>b)</sup>	A	Среднее значение трех максимальных пиков. Максимальное, без коррекции	51 дБ 54 дБ	49 дБ 52 дБ	49 дБ 52 дБ	49 дБ 52 дБ
	B	С коррекцией по энергии ( $\text{Ом} \cdot \text{км}^{-\frac{1}{2}}$ )	0.8	2	2	2
	C	Без коррекции(Ом)	1	1,5	1,5	1,5

- <sup>a)</sup> Если исследования показывают, что требуется проведение измерений импульсами меньшей длительности, то следует использовать длительность порядка 2 нс.
- <sup>b)</sup> Достаточно проверить выполнение одного из трех требований: A, B или C.
- c) До тех пор, пока не будет разработан эхометр с импульсами, имеющими длительность 10 нс, который может осуществлять проверку половины усилительного участка, это измерение будет выполняться с помощью импульсов, имеющих длительность 50 нс.

### 3.4 Переходное влияние

Защищенность от переходного влияния на дальнем конце между двумя коаксиальными парами в кабеле на любой частоте передаваемой полосы должна быть, по крайней мере, равна величинам, которые приведены в таблице 7/G.623.

ТАБЛИЦА 7/G.623

Длина элементарного кабельного участка (км)	Полоса частот (МГц)	Защищенность от переходных влияний на дальнем конце (дБ)
9	0,06-4,3	85
4,5	0,3-12,5	94 <sup>a)</sup>
1,5	4-62	130

<sup>a)</sup> Если кабель используется для передачи как полосы частот 0,3-12 МГц, так и полосы более низких частот с более длинными усилительными участками, то нормы защищенности на дальнем конце нужно увеличить на несколько децибел на частотах выше 300 кГц с тем, чтобы учитывать разности в уровнях в некоторых точках кабеля. Вполне достаточным будет предельное значение 100 дБ.

В кабелях, работающих на частотах до 60 МГц, переходное затухание на ближнем конце на частоте 60 МГц между парами противоположных направлений передачи должно быть не меньше 140 дБ. Для других систем не устанавливается никаких предельных значений, поскольку предварительные исследования показали, что защищенность от переходного влияния на ближнем конце в условиях эксплуатации больше защищенности от переходного влияния на дальнем конце. Эти значения включают долю, вносимую вспомогательными устройствами, которые подключены к элементарному кабельному участку, например, с помощью гибких перемычек и коаксиальных разъемов.

*Примечание 1.* — Значения, указанные для кабелей, работающих на частотах до 60 МГц, выведены из общих соображений о переходных влияниях между каналами звукового вещания (см. Рекомендацию J.18 [2]). Эти значения легко обеспечить, хотя при современном состоянии техники их трудно проверить с помощью обычных измерительных приборов.

*Примечание 2.* — Значения, указанные для кабелей, работающих на частотах до 12 МГц или ниже, достаточны для телефонной передачи. Для передачи по каналу звукового вещания эту величину следует увеличить до 105 дБ; ее легко получить на кабелях всех типов на частотах выше 300 кГц.

*Примечание 3.* — Эти предельные значения позволяют получить защищенность от переходных влияний на дальнем конце порядка 65 дБ на наихудшем однородном участке длиной 280 км; при этом допускается, что на рассматриваемых частотах может приниматься в расчет только влияние на дальнем конце, которое обусловлено кабелем<sup>4)</sup>. При отсутствии инверсии фазы предполагается, что изменение минимальной защищенности на дальнем конце в зависимости от длины приблизительно следует закону 20 дБ/декаду для длин меньше предельной длины  $L_1$  и закону 10 дБ/декаду для длин больше  $L_1$ . Значение  $L_1$  зависит от нескольких факторов, главным образом от используемой системы, типа кабеля и рассматриваемой частоты. Длина 30 км в большинстве случаев будет вполне приемлемой, хотя на практике действует диапазон значений  $L_1$  от нескольких километров до 30 км, гарантирующий совместимость с предельными значениями, которые указаны в таблице 7/G.623, при предельном значении 65 дБ для участка длиной 280 км.

### 3.5 Прочность изоляции

Пара должна выдерживать постоянное напряжение 2000 В, приложенное в течение 1 мин. между внутренним и внешним проводниками. Прочность изоляции должна проверяться на каждом элементарном кабельном участке после окончания прокладки.

### 3.6 Сопротивление изоляции

Сопротивление изоляции между внутренним и внешним проводниками коаксиальной пары, измеренное при полностью установленном напряжении в пределах от 100 до 500 В, должно составить не менее 5000 МОм/км после включения напряжения в течение 1 мин. Измерение сопротивления изоляции должно выполняться после испытания прочности изоляции. Это измерение должно выполняться на каждом элементарном кабельном участке.

<sup>4)</sup> На практике можно пренебречь влиянием линейной аппаратуры на занятый переходный разговор, но это справедливо только для низких частот, (ниже 300 кГц).

## ПРИЛОЖЕНИЕ А

(к Рекомендации G.623)

### ОПИСАНИЕ МЕДНО-АЛЮМИНИЕВОЙ КОАКСИАЛЬНОЙ ПАРЫ С ТАКИМИ ЖЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИМИ ХАРАКТЕРИСТИКАМИ, ЧТО И У КОАКСИАЛЬНОЙ ПАРЫ С МЕДНЫМИ ПРОВОДНИКАМИ С ДИАМЕТРАМИ 2,6/9,5 мм

Медно-алюминиевая коаксиальная пара имеет следующую конструкцию:

- внутренний проводник выполнен из сплошной медной проволоки диаметром 2,8 мм;
- изоляция выполнена таким образом, что диэлектрическая проницаемость газа и сплошного диэлектрика с малыми потерями достаточно низка для того, чтобы удовлетворять требованиям настоящей Рекомендации;
- внешний проводник выполнен из алюминиевой ленты толщиной 0,7 мм в форме трубки с внутренним диаметром 10,2 мм, которая располагается поверх изоляции и продольно сваривается.

Такие коаксиальные пары могут легко и надежно соединяться друг с другом или с медными парами, имеющими диаметры 2,6/9,5 мм. Они удовлетворяют всем требованиям настоящей Рекомендации. В частности, значения переходных затуханий на дальнем конце (§ 3.4) получены между парами, по которым передача осуществляется в одном и том же направлении.

#### Библиография

- [1] Вопрос 17/XV МККТТ, приложение 2, Зеленая книга, том III.3, МСЭ, Женева, 1973 г.
- [2] Рекомендация МККТТ "Переходные помехи в каналах звукового вещания, образованных в системах передачи", том III, Рек. J.18.

### 6.3 Подводные кабели

Рекомендации этого подраздела содержат технические требования на подводные кабели. Рекомендации, относящиеся к системам передачи, указаны в подразделе 3.7.

В Дополнении № 11 содержатся сведения о судах-кабелеукладчиках, которые используются в разных странах.

В Дополнении № 18 содержатся сведения о глубоководных кабелях.

#### Рекомендация G.631

### ТИПЫ ПОДВОДНЫХ КАБЕЛЕЙ, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ДЛЯ СИСТЕМ ПЕРЕДАЧИ С ПРЕДЕЛЬНОЙ ЧАСТОТОЙ МЕНЕЕ 45 МГц

(Женева, 1976 г.)

МККТТ,

признавая,

что особая сложность при ремонте кабеля в случае глубоководных морских кабельных систем передачи (то есть на глубинах, где нет необходимости применять бронированные кабели) оправдывает меры, ведущие к уменьшению числа типов кабеля, с которыми приходится работать ремонтным судам;

*считая*

в то же время, что разработчики систем передачи требуют гибкости в выборе кабеля для оптимизации общей стоимости на единицу длины каждой конкретной системы;

*признавая,*

что наиболее важными характеристиками кабеля, определяющими возможность спаивания двух кабелей, являются следующие:

- внутренний диаметр внешнего проводника,
- волновое сопротивление кабеля,

*рекомендует*

для подводных систем передачи с предельной частотой 45 МГц на глубоководных участках использовать кабель, который соответствует предельным значениям, указанным в таблице 1/G.631.

ТАБЛИЦА 1/G.631

Внутренний диаметр внешнего проводника	25,0-25,5 мм	37,0-38,5 мм	43,2 мм
Волновое сопротивление	43-46 Ом	a) 53-54 Ом b) 60-62 Ом	a) 49-50 Ом b) 53-54 Ом c) 60-62 Ом

#### 6.4 Волноводы

Рекомендация G.641

#### ДИАМЕТРЫ ВОЛНОВОДОВ

(Женева, 1976 г.)

МККТТ,

*учитывая,*

(а) что достоинством волноводов большого диаметра является малое затухание, допускающее возможность удлинения участков между промежуточными усилителями на сравнительно прямых магистралях, однако эти волноводы обходятся дороже в производстве и к их прокладке предъявляются более высокие требования;

(б) что волноводы малого диаметра дешевле, менее критичны к изгибам и к условиям прокладки, что, следовательно, весьма выгодно на городских участках или в случае пересеченной местности, но требуют меньших расстояний между промежуточными усилителями;

(с) что выбор оптимального диаметра волновода для каждого конкретного случая применения является весьма сложным делом, поскольку требует подробного анализа рассматриваемой трассы, сравнения расходов на производство и прокладку для различных возможных типов и диаметров волноводов, сравнения стоимости различных типов и числа промежуточных усилителей и анализа общей надежности;

(д) что целесообразно свести к минимуму нежелательную разнотипность путем нормализации небольшого числа диаметров волноводов,

*рекомендует*

выбирать волноводы с внутренним диаметром порядка 30, 40, 50, 51, 60 и 70 мм.

## 6.5 Волоконно-оптические кабели

Рекомендация G.651

### ХАРАКТЕРИСТИКИ МНОГОМОДОВЫХ ГРАДИЕНТНЫХ ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКИХ КАБЕЛЕЙ 50/125 МКМ

(Малага-Торремолинос, 1984 г.; изменена в Мельбурне, 1988 г.)

МККТТ,

учитывая,

(а) что волоконно-оптические кабели из многомодовых градиентных волокон найдут широкое применение на будущих сетях электросвязи;

(б) что предусматриваемое их использование, возможно, потребует многомодовых волокон, отличающихся по:

- природе материала,
- геометрическим характеристикам,
- диапазонам рабочих волн,
- характеристикам передачи и оптическим характеристикам,
- механическим аспектам и аспектам окружающей среды,

(с) что в результате успешного изучения возможностей практического применения могут быть разработаны Рекомендации по многомодовым волокнам различных видов,

рекомендуется

многомодовое градиентное волокно, которое можно применять в диапазонах 850 нм или 1300 нм или же в обоих диапазонах одновременно.

Это волокно может применяться как для аналоговой, так и для цифровой передачи.

Его геометрические и оптические характеристики передачи описаны ниже.

Определение терминов, используемых в настоящей Рекомендации, приводится в приложении А, а указания, которых следует придерживаться при измерениях с целью проверки различных характеристик, содержатся в приложении В.

Приложения А и В могут стать отдельными Рекомендациями после согласования дополнительных Рекомендаций по многомодовым волокнам.

#### 1 Характеристики волокон

Характеристики волокон, которые рассматриваются в § 1, обеспечивают возможность соединения волокон с допустимым малым затуханием.

В § 1 предлагаются только собственные характеристики волокна (не зависящие от изготовления кабеля). Они в равной мере относятся к отдельным волокнам, к волокнам, которые входят в кабель, намотанный на барабан, и к волокнам в проложенном кабеле.

##### 1.1 Геометрические характеристики волокна

###### 1.1.1 Диаметр сердцевины

Рекомендуемая номинальная величина диаметра сердцевины составляет 50 мкм.

Отклонение от этой величины не должно превышать  $\pm 6\%$  ( $\pm 3$  мкм).

###### 1.1.2 Диаметр оболочки

Рекомендуемая номинальная величина диаметра оболочки составляет 125 мкм.

Отклонение от этой величины не должно превышать  $\pm 2,4\%$  ( $\pm 3$  мкм).

###### 1.1.3 Погрешность концентричности

Допустимая погрешность концентричности должна быть меньше 6%.

## **1.1.4 Некруглость**

### **1.1.4.1 Некруглость сердцевины**

Допустимая некруглость сердцевины должна быть меньше 6%.

### **1.1.4.2 Некруглость оболочки**

Допустимая некруглость оболочки должна быть меньше 2%.

## **1.2 Оптические свойства волокна**

### **1.2.1 Профиль показателя преломления**

Для рассматриваемых в настоящей Рекомендации волокон профили показателя преломления предполагаются близкими к параболе.

### **1.2.2 Числовая апертура**

Оптимальная величина числовой апертуры (NA) зависит от конкретного применения данного волокна и, в частности, от требуемой величины эффективности связи источника, от дополнительного затухания, вносимого допустимыми микроизгибами, и от требуемой суммарной частотной характеристики.

Величины, обычно используемые на практике, находятся в пределах от 0,18 до 0,24.

Разность между любыми фактическими и выбранными номинальными значениями не должна превышать 0,02.

## **1.3 Свойства материалов, используемых для волокна**

### **1.3.1 Материалы, используемые для волокна**

Всегда должны указываться вещества, из которых изготовлены волокна.

*Примечание.* — Необходимо соблюдать предосторожность при сращивании методом сварки волокон, изготовленных из разных веществ. Предварительные результаты показывают, что приемлемые потери на сростках и прочность могут быть получены при сращивании различных волокон с высоким содержанием кремния.

### **1.3.2 Защитные материалы**

Необходимо указывать физические и химические свойства материала, который используется для первичного покрытия волокна, а также наилучший способ его удаления (в случае необходимости). Подобные указания следует давать и в случае однослоиного покрытия волокна.

## **2 Требования к строительным длинам**

Поскольку геометрические и оптические характеристики волокон практически не изменяются в процессе производства кабеля, в § 2 приведены рекомендации, которые относятся в основном к характеристикам передачи.

Характеристики передачи во многом зависят от длины волны, которая используется для передачи информации.

Условия окружающей среды и условия выполнения измерений, имеющие отношение к настоящей Рекомендации, указаны в приложении по методам измерений.

Характеристики передачи волокон имеют статистическое распределение вероятности, которое зависит от конструкции и способа изготовления. При нормировании характеристик передачи следует учитывать это распределение. Так, например, в некоторых случаях применения конкретное предельное значение может охватывать не 100%, а лишь небольшую часть всей продукции. В отдельных случаях на установление нормы будут существенно влиять экономические соображения.

### **2.1 Коэффициент затухания**

Волоконно-оптические кабели, рассматриваемые в настоящей Рекомендации, имеют, как правило, коэффициенты затухания в диапазоне 850 нм меньше 4 дБ/км и в диапазоне 1300 нм меньше 2 дБ/км.

*Примечание 1.* — Достижение наименьших величин коэффициента затухания зависит от технологии изготовления, химического состава волокна и конструкции волокна и кабеля; получены величины порядка 2—2,5 дБ/км в диапазоне 850 нм и порядка 0,5—0,8 дБ/км в диапазоне 1300 нм.

*Примечание 2.* — В некоторых случаях волокна могут использоваться в обоих диапазонах длины волны.

## 2.2 Характеристика основной полосы частот

Характеристика основной полосы частот учитывает влияние как модовых искажений, так и хроматической дисперсии. В некоторых случаях применения влияние хроматической дисперсии бывает незначительным и им можно пренебречь.

Характеристика основной полосы представлена в частотной области. Администрации, желающие использовать временную область, могут сделать это с помощью математических операций. Для этой цели необходимо располагать амплитудной и фазовой характеристиками.

Характеристика основной полосы частот отнесена к 1 км.

### 2.2.1 Амплитудно-частотная характеристика полосы пропускания по модовым искажениям

Ширина полосы пропускания определяется по амплитудно-частотной характеристике, построенной по модовым искажениям и скорректированной с учетом хроматической дисперсии, на уровне  $-3$  дБ оптич. ( $-6$  дБ электрич.). Следует также давать и более полную кривую общей полосы пропускания.

Волоконно-оптические кабели, рассматриваемые в настоящей Рекомендации, имеют, как правило, нормированные полосы пропускания по модовым искажениям, которые превышают  $200$  МГц · км в диапазоне 850 нм и в диапазоне 1300 нм, но не обязательно одновременно в обоих диапазонах.

*Примечание 1.* — Достижение больших величин нормализованной полосы пропускания по модовым искажениям зависит от процесса изготовления, химического состава волокна и конструкции волокна и кабеля; получены величины, превышающие  $1000$  МГц · км в диапазоне 850 нм и  $200$  МГц · км в диапазоне 1300 нм.

*Примечание 2.* — В некоторых случаях волокна могут использоваться в обоих диапазонах длины волны.

### 2.2.2 Фазовая характеристика полосы пропускания по модовым искажениям

Никакой величины не указывается в качестве рекомендуемой, поскольку информация о фазовой характеристике требуется только в особых случаях.

### 2.2.3 Хроматическая дисперсия

При необходимости изготовитель оптических волокон должен указывать величины коэффициента хроматической дисперсии данного типа волокна в рабочем диапазоне (диапазонах) длины волны. Метод измерения определяется в приложении В, раздел V, Рекомендация G.652.

*Примечание 1.* — Для многомодовых волокон доминирующим фактором хроматической дисперсии является материальная дисперсия.

*Примечание 2.* — Типовые значения коэффициента хроматической дисперсии для оптических волокон с высоким содержанием кремния таковы:

Длина волны (нм)	Коэффициент хроматической дисперсии [пс/(нм · км)]
850	$\leq 120$
1300	$\leq 6$

Согласно определению, которое дано в Рекомендации G.601 (термин 1008), элементарный кабельный участок обычно включает в себя несколько сращиваемых строительных длин кабеля. Требования к строительным длинам кабеля указаны в § 2 настоящей Рекомендации. Параметры передачи элементарных кабельных участков должны учитывать не только рабочие характеристики отдельных строительных длин кабеля, но и в числе других факторов — сростки, соединители (если они применяются), а также эффекты модовой связи, которые могут оказывать влияние на ширину полосы и затухание.

Помимо этого, характеристики передачи строительных длин волокна, а также сростки и соединители и все другие подобные элементы характеризуются определенными распределениями вероятности, которые зачастую необходимо принимать в расчет для получения наиболее экономичного проекта. Подпункты, следующие ниже, нужно читать, помня о статистическом характере различных параметров.

### 3.1 Затухание

Затухание А элементарного кабельного участка определяется следующей формулой:

$$A = \sum_{n=1}^m \alpha_n \cdot L_n + a_s \cdot x + a_c \cdot y,$$

где

$\alpha_n$  — коэффициент затухания  $n$ -го волокна элементарного кабельного участка,

$L_n$  — длина  $n$ -го волокна,

$m$  — общее число волокон, сочлененных в элементарном кабельном участке,

$a_s$  — среднее затухание сростка,

$x$  — количество сростков на элементарном кабельном участке,

$a_c$  — среднее затухание линейных соединителей,

$y$  — количество линейных соединителей на элементарном кабельном участке (если такие имеются).

*Примечание 1.* — Затухания  $a_s$  и  $a_c$  сростков и линейных соединителей обычно определяются в условиях равновесного модового распределения. В эксплуатационных условиях могут наблюдаться существенные расхождения.

*Примечание 2.* — Приведенная выше формула не учитывает затухание разъемов аппаратуры.

*Примечание 3.* — В общем расчете системы следует предусматривать достаточный запас затухания на кабель для будущих изменений его конфигурации (новые сростки, дополнительные вставки кабеля, эффекты старения, температурные колебания и т.п.).

*Примечание 4.* — Для затухания сростков и соединителей принимается в расчет среднее значение. Суммарное затухание, которое используется для расчета реальной системы, должно учитывать статистические измерения этих параметров.

### 3.2 Характеристика полосы пропускания (общая полоса оптических частот $-3$ дБ)

Характеристика полосы пропускания представлена в частотной области и учитывает влияние как модовых искажений, так и хроматической дисперсии. Она может быть выражена следующей формулой:

$$B_T = \left[ B_{\text{мод}}^{-2} + B_{\text{хром}}^{-2} \right]^{-\frac{1}{2}},$$

где

$B_T$  — результирующая ширина полосы пропускания (с учетом влияния модовых искажений и хроматической дисперсии),

$B_{\text{мод}}$  — полоса пропускания по модовым искажениям,

$B_{\text{хром}}$  — полоса пропускания по хроматической дисперсии (см. примечание 3).

*Примечание 1.* — Следует предполагать, что частотная характеристика полосы пропускания по модовым искажениям и спектр источника являются гауссовыми.

*Примечание 2.* — В некоторых случаях, когда влияние хроматической дисперсии оказывается пренебрежимо малым, ее можно в расчет не принимать.

*Примечание 3.* — Хроматическая полоса пропускания  $B_{\text{хром}}$  обратно пропорциональна длине участка, а если допускается, что источник имеет гауссовский спектр, то она может быть выражена следующей формулой:

$$B_{\text{хром}} (\text{МГц}) = (\Delta \lambda \cdot D(\lambda) \cdot 10^{-6} \cdot L / 0,44)^{-1},$$

где

$\Delta \lambda$  — полная на половине максимума ширина (ППМШ) спектра источника (нм),

$D(\lambda)$  — коэффициент хроматической дисперсии [пс/(нм · км)],

$L$  — длина участка (км)

### 3.2.1 Полоса пропускания по модовым искажениям

Значения полосы пропускания по модовым искажениям для отдельных отрезков кабеля элементарного кабельного участка могут быть выбраны из соответствующей спецификации волокон. Однако результирующая ширина полосы пропускания по модовым искажениям элементарного кабельного участка может не всегда соответствовать линейному сложению индивидуальных характеристик из-за модовой связи и других эффектов, которые возникают на сростках, а иногда и вдоль волокна.

Таким образом, ширина полосы пропускания по модовым искажениям для элементарного кабельного участка может быть выражена следующей формулой:

$$B_{\text{мод/общая}} = \left\{ \sum_1^x B_{\text{мод}_n} \frac{-1}{\gamma} \right\}^{-\gamma};$$

где

$B_{\text{мод/общая}}$  — результирующая полоса пропускания по модовым искажениям элементарного кабельного участка,

$B_{\text{мод}_n}$  — ширина полосы пропускания по модовым искажениям  $n$ -го волокна элементарного кабельного участка

$x$  — общее число волокон, последовательно соединенных в элементарном кабельном участке,

$\gamma$  — коэффициент соединения полосы пропускания по модовым искажениям.

*Примечание.* — Значение коэффициента соединения  $\gamma$  полосы пропускания по модовым искажениям обычно колеблется в пределах от 0,5 до 1 в зависимости от эффектов модовой связи на сростках, от компенсации профиля  $a$ , от длины волны максимальной полосы и т.п. В некоторых случаях могут быть получены и более низкие значения. Для любого конкретного волокна требуемое значение  $\gamma$  может быть получено эмпирически и, как правило, указывается изготовителем волокна и кабеля.

## ПРИЛОЖЕНИЕ А

(к Рекомендации G.651)

Значения терминов, используемых в данной Рекомендации

### A.1 альтернативный метод измерения (АТМ)

Метод измерения, при котором заданная характеристика определенного класса оптических волокон или волоконно-оптических кабелей измеряется в соответствии с определением данной характеристики и который дает воспроизводимые результаты, которые могут быть связаны с эталонным методом измерения и пригодны для практических целей.

### A.2 коэффициент затухания

В оптическом волокне это затухание на единицу длины.

*Примечание.* — Затухание есть степень ослабления средней оптической мощности в зависимости от расстояния вдоль волокна и определяется по формуле:

$$P(z) = P(0) 10^{-(az/10)},$$

где

$P(z)$  — мощность на расстоянии  $z$  вдоль волокна,

$P(0)$  — мощность при  $z = 0$ ,

$a$  — коэффициент затухания в дБ/км, если  $z$  выражено в км.



Из этого уравнения коэффициент затухания будет:

$$a = - \frac{10 \log_{10} [P(z)/P(0)]}{z}$$

В данном случае предполагается, что  $a$  не зависит от  $z$ .

**A.3 ширина полосы (оптического волокна)**

Это значение, численно равное наименьшей частоте, на которой величина функции передачи оптического волокна уменьшается на определенную часть, как правило, на  $-3$  дБ оптич. ( $-6$  дБ электрич.) своего значения при нулевой частоте.

*Примечание.* — Ширина полосы ограничивается несколькими факторами, главным образом, модовыми искажениями и хроматической дисперсией в многомодовых волокнах.

**A.4 хроматическая дисперсия**

Расширение светового импульса в оптическом волокне, обусловленное различиями групповых скоростей разных длин волны, которые составляют спектр источника света.

*Примечание.* — Хроматическая дисперсия может быть обусловлена одной или несколькими причинами: материальной дисперсией, волноводной дисперсией, профильной дисперсией. Поляризационная дисперсия в кругло-симметричных волокнах заметного влияния не оказывает.

**A.5 коэффициент хроматической дисперсии**

Хроматическая дисперсия в расчете на единицу ширины спектра источника и единицу длины волокна. Обычно выражается в пс/(нм · км).

**A.6 оболочка**

Диэлектрический материал оптического волокна, окружающий сердцевину.

**A.7 съемник мод оболочки**

Устройство, способствующее преобразованию мод оболочки в моды излучения.

**A.8 сердцевина**

Центральная область оптического волокна, по которой передается наибольшая часть оптической мощности.

**A.9 площадь сердцевины**

Для поперечного сечения оптического волокна площадь, внутри которой показатель преломления в любой точке (за исключением отдельных "провалов" показателя) превышает показатель преломления самой глубокой однородной оболочки на заданную часть разности между максимальным показателем преломления сердцевины и показателем преломления самой глубокой однородной оболочки.

*Примечание.* — Площадь сердцевины есть наименьшая площадь поперечного сечения волокна (за исключением отдельных "провалов" показателя), которая находится в пределах точек, где показатель преломления  $n_3$  дается формулой:

$$n_3 = n_2 + k(n_1 - n_2) \quad (\text{см. рис. A-1/G.651}),$$

где

$n_1$  — максимальный показатель преломления сердцевины,

$n_2$  — показатель преломления самой глубокой однородной оболочки,

$k$  — константа.

*Примечание.* — При отсутствии специального указания  $k$  принимается равной 0,05.

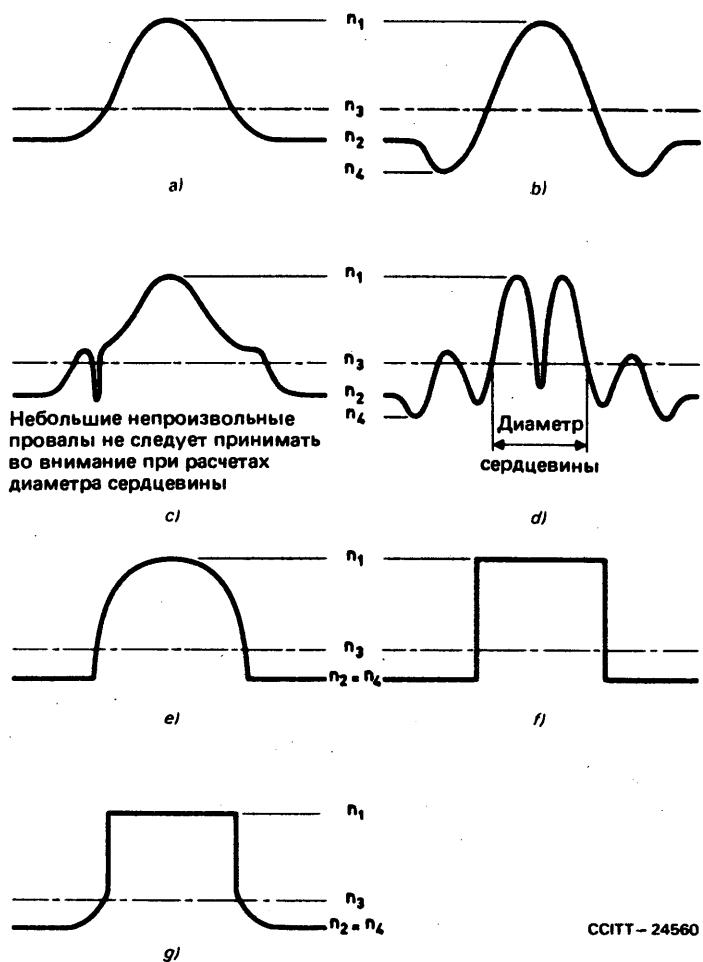


РИСУНОК А-1/G.651

Примеры профилей показателя преломления

**A.10 центр сердцевины (оболочки)**

Для поперечного сечения оптического волокна это центр окружности, которая наилучшим образом вписывается внутри внешних пределов площади сердцевины (оболочки).

*Примечание 1.* — Эти центры могут не совпадать.

*Примечание 2.* — Метод "наилучшего вписывания" должен оговариваться.

**A.11 диаметр сердцевины (оболочки)**

Диаметр окружности, определяющий центр сердцевины (оболочки).

**A.12 отклонение диаметра сердцевины (оболочки)**

Разность между действительным и номинальным диаметрами сердцевины (оболочки).

**A.13 погрешность концентричности сердцевины (оболочки)**

Расстояние между центром сердцевины и центром оболочки, деленное на диаметр сердцевины.

#### A.14 поле допусков сердцевины (оболочки)

Для поперечного сечения оптического волокна это есть область, расположенная между окружностью, описанной вокруг площади сердцевины (оболочки), и наибольшей окружностью, концентричной по отношению к первой и вписанной в площадь сердцевины (оболочки). Обе окружности должны иметь тот же центр, что и сердцевина (оболочка).

#### A.15 шаблон ближнего поля в виде четырех концентрических окружностей

Шаблон, состоящий из четырех концентрических окружностей и применимый к диаграмме излучения ближнего поля волокна.

*Примечание.* — Шаблон обычно применяется для общей проверки приемлемости различных геометрических параметров волокна за одну простую операцию.

#### A.16 шаблон показателя преломления в виде четырех концентрических окружностей

Шаблон, состоящий из четырех концентрических окружностей и применимый к полному профилю показателя преломления волокна.

*Примечание.* — Шаблон обычно применяется для общей проверки приемлемости различных геометрических параметров волокна за одну простую операцию.

#### A.17 максимальная теоретическая числовая апертура

Теоретическое значение числовой апертуры, вычисленное по показателю преломления сердцевины и оболочки по следующей формуле:

$$NA_{t\max} = (n_1^2 - n_2^2)^{\frac{1}{2}},$$

где

$n_1$  — максимальный показатель преломления сердцевины,

$n_2$  — показатель преломления самой глубокой однородной оболочки.

*Примечание.* — Соотношение между  $NA$  (§ A.21) и  $NA_{t\max}$  приведено в разделе I приложения В, § B.2.2.

#### A.18 фильтр мод

Устройство, предназначенное для пропускания или режекции одной или нескольких мод.

#### A.19 скремблер мод; смеситель мод

Устройство, предназначенное для стимулирования обмена мощностью между модами в оптическом волокне и эффективно смещающее моды.

*Примечание.* — Часто используется для обеспечения распределения мод, которое не зависит от характеристик источника.

#### A.20 некруглость сердцевины (оболочки)

Разность между диаметрами обеих окружностей, определяемых полем допусков сердцевины (оболочки), деленная на диаметр сердцевины (оболочки).

#### A.21 числовая апертура

Числовая апертура  $NA$  есть синус половины угла при вершине наибольшего конуса лучей, который может войти в сердцевину оптического волокна или выйти из нее, умноженный на показатель преломления среды, в которой расположена вершина этого конуса лучей.

## A.22 эталонная поверхность

Цилиндрическая поверхность оптического волокна, служащая эталоном при сращивании.

*Примечание.* — Эталонная поверхность, как правило, является поверхностью оболочки или первичного покрытия. В редких случаях речь идет о поверхности сердцевины.

## A.23 эталонный метод измерения (RTM)

Метод измерения, при котором заданная характеристика определенного класса оптических волокон или волоконно-оптических кабелей измеряется в строгом соответствии с определением данной характеристики и который дает точные и воспроизводимые результаты, пригодные для использования в практических целях.

## A.24 профиль показателя (преломления)

Распределение показателя преломления по диаметру оптического волокна.

# ПРИЛОЖЕНИЕ В

(к Рекомендации G.651)

## Методы измерения

В настоящем приложении дается описание эталонного (RTM) и альтернативного (ATM) методов измерения для каждого параметра; при этом предполагается, что и RTM, и ATM могут быть использованы при приемочных испытаниях обычных изделий. Однако в случае обнаружения какого-либо несоответствия в результатах при использовании альтернативного метода (ATM) для получения окончательных результатов рекомендуется применять эталонный метод (RTM).

## Раздел I — Эталонный и альтернативный методы измерения геометрических и оптических параметров

### B.1 Введение

#### B.1.1 Общие положения

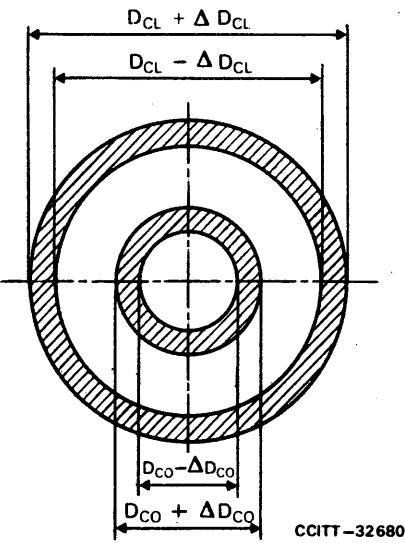
Предполагается, что измерение геометрических и оптических параметров, рассматриваемых в данной Рекомендации, будет производиться только в заводских или лабораторных условиях теми Администрациями, которые хотели бы проверить эти параметры для целей проектирования систем или для других целей. Следовательно, предполагается, что измерения будут производиться на образцах отрезков волокна или на образцах строительных длин кабеля.

Диаметр и некруглость сердцевины определяются на основе профиля показателя преломления. Остальные параметры могут быть выведены из профиля показателя преломления. Отсюда следует, что все геометрические и оптические параметры вместе с соответствующими допусками, которые рассматриваются в настоящей Рекомендации, могут быть получены с помощью одного основного измерения.

#### B.1.1.1 Поле допусков четырех кругов

Простым средством проверки геометрических параметров волокна является метод "поля допусков четырех кругов". Он не предъявляет дополнительных требований к геометрическим характеристикам волокна, а является альтернативным методом общей проверки этих характеристик. Если между этими методами и методом проверки отдельных характеристик возникают расхождения, то верить следует последнему.

Метод "поля допусков четырех кругов" основан на шаблоне, который показан на рис. B-1/G.651, где две концентрические окружности, описанные вокруг сердцевины (диаметр которой равен  $D_{co}$ ), соответственно имеют диаметры  $D_{co} - 4 \text{ мкм}$  и  $D_{co} + 4 \text{ мкм}$  и две концентрические окружности, описанные вокруг оболочки (диаметр которой  $D_{CL}$ ), соответственно имеют диаметры  $D_{CL} - 5 \text{ мкм}$  и  $D_{CL} + 5 \text{ мкм}$ . Этот метод может быть применен к данным, которые получены либо с помощью эталонного метода измерения (шаблон показателя преломления в виде четырех концентрических окружностей), либо с помощью альтернативного метода измерения (шаблон ближнего поля в виде четырех концентрических окружностей).



$D_{CO}$	Номинальный диаметр сердцевины
$\Delta D_{CO}$	Допуск на окружность, описывающую сердцевину, = 4 мкм
$D_{CL}$	Номинальный диаметр оболочки
$\Delta D_{CL}$	Допуск на окружность, описывающую оболочку, = 5 мкм

РИСУНОК В-1/G.651

### B.1.1.2 Факторы внутреннего качества

Величины максимальной числовой апертуры, диаметра сердцевины, погрешности концентричности и некруглости сердцевины изменяются одновременно таким образом, что могут либо дополнять, либо компенсировать друг друга. Чтобы надлежащим образом учесть эти эффекты, можно, используя значения этих геометрических и оптических параметров, измеренных с помощью существующих методов, вычислить теоретическое затухание сростков. Предполагается, что имеет место либо гауссово распределение, либо распределение в установившемся режиме мощности в зависимости от угла. Фактор внутреннего качества (IQF) может быть вычислен как средняя величина теоретических потерь в сростке в двух направлениях, когда испытываемое волокно сращивается с номинальным при идеальном совмещении эталонных поверхностей. Величина фактора внутреннего качества порядка 0,27 дБ соответствует отдельным допускам, которые рекомендованы в разделе 1 Рекомендации G.651. Если между методом фактора внутреннего качества и проверкой отдельных характеристик возникают какие-либо расхождения, то эталоном является проверка отдельных характеристик.

### B.1.2 Геометрические характеристики

Диаметр сердцевины и диаметр оболочки измеряемого волокна, а также центры сердцевины и оболочки можно определить с помощью достаточного числа соответствующим образом распределенных точек на границе сердцевина/оболочка и на границах оболочки, соответственно.

При использовании растрового сканирования следует выбирать большее число точек, чтобы обеспечить достаточно равномерное распределение.

Погрешность концентричности можно определить по расстоянию между центрами сердцевины и оболочки.

Некруглость сердцевины и оболочки можно определить по полю допусков.

## B.2 Эталонные методы измерения геометрических параметров и альтернативный метод измерения числовой апертуры: метод преломления в ближнем поле

### B.2.1 Общие положения

Измерение преломления в ближнем поле является простым, точным и непосредственно указывает на изменение показателя преломления по всему волокну (сердцевина и оболочка). Это измерение может дать хорошее разрешение и его можно откалибровать таким образом, что оно дает возможность получать абсолютные значения показателя преломления.

Схематическое изображение метода представлено на рис. В-2а/G.651. Этот метод заключается в сканировании торца волокна сфокусированным световым лучом. Оптическая система ввода отрегулирована таким образом, чтобы перекрывать числовую апертуру волокна. Торец волокна погружен в жидкость, показатель преломления которой несколько выше, чем показатель преломления оболочки. Часть света направляется в волокно, а остальная часть появляется в виде полого конуса снаружи. Чтобы в детектор попадал только преломленный свет, на оси сердцевины размещается диск. Выходной сигнал детектора усиливается и воспроизводится смещением по оси у координатного самописца; развертка по оси  $x$  определяется системой контроля положения сфокусированного пятна света на торце волокна. Типовые профили показателя преломления многомодового гра-диентного волокна даны на рис. В-2б/G.651.

Оптическое разрешение и, следовательно, способность различения деталей профиля зависят от размера сфокусированного светового пятна, которое зависит как от числовой апертуры фокусирующей линзы, так и от размеров диска. Однако положение резких деталей может быть установлено с гораздо большей точностью, оно зависит от размера шага шаговых систем или от точности контроля положения аналоговых приводов.

## B.2.2 Числовая апертура и разность показателей преломления

Максимальная теоретическая числовая апертура определяется следующим образом:

$$NA_{t\max} = \sqrt{n_1^2 - n_2^2}.$$

Разность показателей преломления определяется следующим образом:

$$\Delta n = n_1 - n_2.$$

Относительная разность показателей преломления определяется следующим образом:

$$\Delta = (n_1 - n_2)/n_1,$$

где

$n_1$  — максимальный показатель преломления сердцевины волокна,

$n_2$  — показатель преломления самой глубокой внутренней оболочки.

Значения  $n_1$  и  $n_2$  могут быть определены с помощью метода преломления в ближнем поле; следовательно,  $NA_{t\max}$ ,  $\Delta n$  и  $\Delta$ .

Максимальная теоретическая числовая апертура  $NA_{t\max}$ , определяемая подобным образом, может быть больше (как правило, на 5—7%), чем числовая апертура, определяемая с помощью эталонного метода измерения.

## B.2.3 Измерительная аппаратура

Блок-схема измерительного устройства приведена на рис. В-3/G.651.

### B.2.3.1 Источник

Требуется сильный лазер с выходной мощностью в несколько милливатт с модой  $TEM_{00}$ .

Можно использовать гелио неоновый лазер, имеющий длину волны 633 нм, но в этом случае для экстраполяции при разных длинах волн требуется поправочный коэффициент. Следует заметить, что измерение при длине волны 633 нм может дать неполную информацию на больших длинах волн, в частности, на поправочный коэффициент может повлиять неравномерное легирование волокна.

Для преобразования линейной поляризации в круговую вследствие того, что коэффициент отражения света на границе воздух—стекло в очень большой степени зависит от угла и поляризации, вводится четвертьволновая пластина.

Расположенная в фокусе линзы 1 точечная диафрагма действует как пространственный фильтр.

### B.2.3.2 Условия ввода света

Оптическая система ввода света, которая устроена таким образом, чтобы перекрывать числовую апертуру волокна, фокусирует световой луч на плоском торце волокна. Оптическая ось светового луча не должна отклоняться от оси волокна более чем на  $1^\circ$ . Разрешающая способность аппарата определяется размерами сфокусированного светового пятна, которое должно быть минимальным, чтобы получить максимальную разрешающую способность, например, менее 1,5 мкм. Аппаратура позволяет сканировать сфокусированное пятно по всему диаметру волокна.

### B.2.3.3 Ячейка с жидкостью

Жидкость в ячейке должна иметь показатель преломления несколько больший, чем показатель преломления оболочки волокна.

#### B.2.3.4 Регистрация

Преломленный свет собирается и подается в детектор любым подходящим способом при условии, что будет собран весь преломленный свет. Требуемые размеры диска и его положение вдоль центральной оси можно определить путем вычислений.

#### B.2.4 Подготовка испытываемого волокна

Требуется отрезок волокна длиной около 1 м.

С части волокна, погруженной в ячейку с жидкостью, следует удалить первичное покрытие.

Торцы волокна должны быть чистыми, ровными и перпендикулярными к оси волокна.

#### B.2.5 Процедура

См. блок-схему измерительного устройства (рис. B-3/G.651).

##### B.2.5.1 Построение профиля волокна

Торец волокна, предназначенный для ввода света, погружается в ячейку с жидкостью, показатель преломления которой несколько выше показателя преломления оболочки волокна. Волокно с обратной стороны освещается вольфрамовой лампой. Линзы 2 и 3 обеспечивают фокусированное изображение волокна.

Положение линзы 3 регулируется таким образом, чтобы центрировать и фокусировать изображение волокна; при этом луч лазера одновременно центрируется и фокусируется на волокне.

Диск центрируется на выходном конусе. Для многомодовых волокон диск помещается на оптической оси именно для блокирования мод утечки. Преломленные моды, миновавшие диск, собираются и фокусируются на фотодиоде.

Сфокусированное пятно, перемещаясь по торцу волокна, позволяет получить прямую диаграмму измерения показателя преломления волокна.

##### B.2.5.2 Калибровка аппаратуры

При выполнении калибровки аппаратуры волокно извлекается из ячейки с жидкостью. В процессе выполнения измерения угол конуса светового пучка изменяется в соответствии с показателем преломления в точке ввода в волокно (следовательно, это вызывает изменение мощности, минущей диск). Когда волокно извлечено из жидкости и известны показатель преломления жидкости и толщина ячейки, это изменение угла можно имитировать перемещением диска вдоль оптической оси. Перемещая диск в несколько заранее определенных положений, можно выполнить калибровку профиля по относительному показателю преломления. Абсолютный показатель преломления, то есть  $n_1$  и  $n_2$ , может быть определен только в том случае, если точно известен показатель преломления оболочки или жидкости для длины волны и температуры, при которых производится измерение.

#### B.2.6 Представление результатов

Указываются следующие данные:

- a) Схема измерительного устройства, процедура коррекции длины волны и применяемый способ сканирования.
- b) Определение волокна.
- c) В зависимости от технических требований:
  - i) профили через центры сердцевины и оболочки, калибранные для рабочей длины волны,
  - ii) профили вдоль главной и малой осей сердцевины, калибранные для рабочей длины волны,
  - iii) профили вдоль главной и малой осей оболочки, калибранные для рабочей длины волны,
  - iv) растровое сканирование по всему сечению волокна, если оно используется,
  - v) диаметр сердцевины<sup>1)</sup>,
  - vi) диаметр оболочки<sup>1)</sup>,
  - vii) погрешность концентричности сердцевины/оболочки,
  - viii) некруглость сердцевины,

<sup>1)</sup> См. приложение I.

- ix) некруглость оболочки,
  - x) максимальная теоретическая числовая апертура:  $NA_{t\max}$ ,
  - xi) разность показателей преломления:  $\Delta n$ ,
  - xii) относительная разность показателей преломления:  $\Delta$ .
- d) Указание точности и воспроизводимости измерений.
- e) Температура образца и окружающие условия (в случае необходимости).

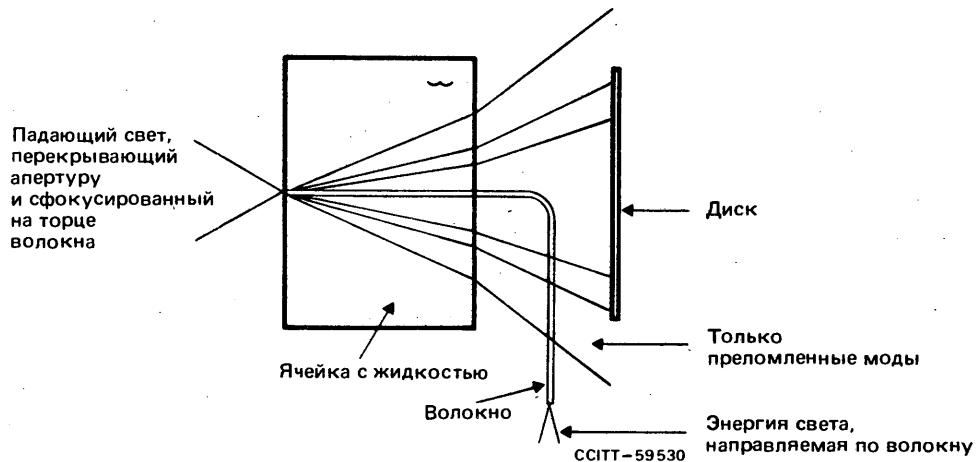


РИСУНОК В-2а/G.651

Метод преломления в ближнем поле, блок-схема

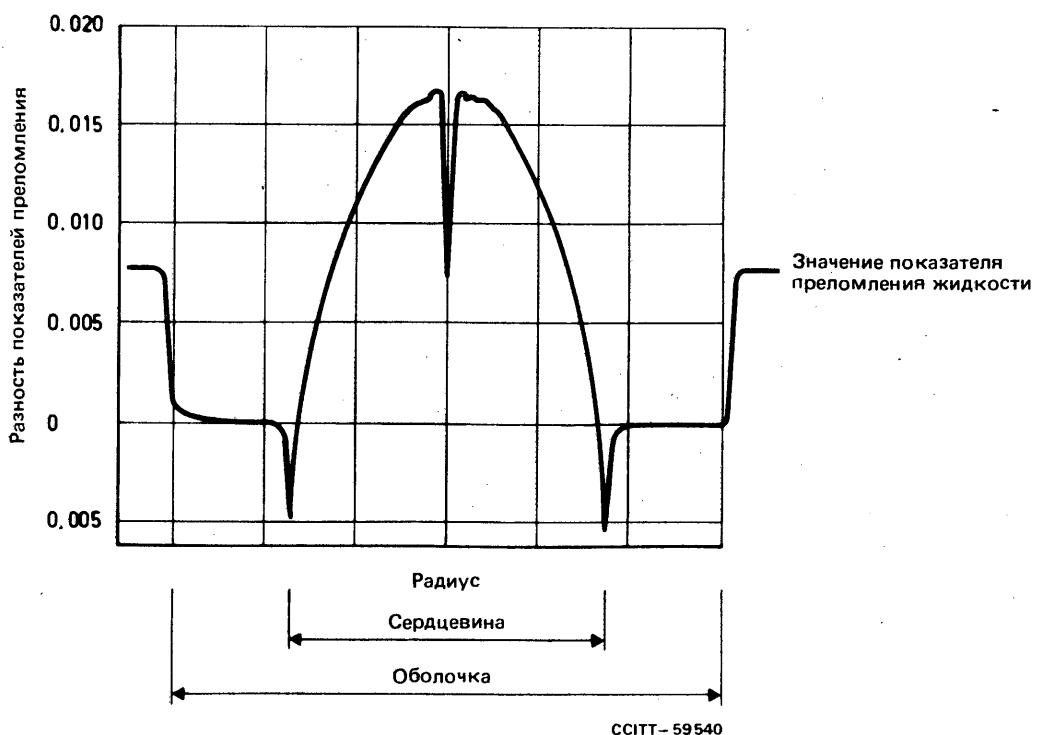


РИСУНОК В-2б/G.651

Профиль показателя преломления градиентного волокна,  
полученный методом преломления в ближнем поле

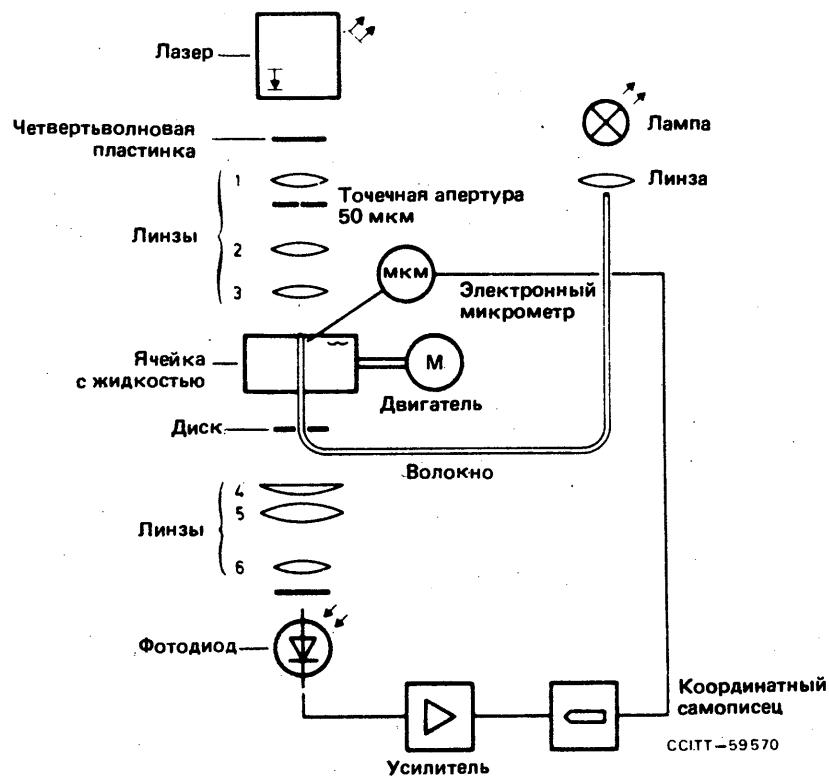


РИСУНОК В-3/G.651

Типовая схема устройства для измерений методом преломления в ближнем поле

### B.3 Альтернативный метод измерения геометрических параметров: метод ближнего поля

#### B.3.1 Общие положения

Метод ближнего поля может быть использован для измерения геометрических характеристик и профиля показателей преломления многомодовых оптических волокон. Такие измерения выполняются в соответствии с определением; их результаты воспроизводимы, могут быть соотнесены с эталонным методом и они пригодны для практического применения.

Измерение основано на сканировании увеличенного изображения торца измеряемого волокна в плоскости поперечного сечения, где помещается детектор.

При измерении геометрических характеристик волокна можно применять щаблон ближнего поля в виде четырех концентрических окружностей к увеличенному изображению волокна, которое получено с помощью объективных оценочных методов, позволяющих обеспечить высокую точность и воспроизводимость. В частности, диаметр сердцевины следует измерять с учетом того же коэффициента  $k$ , который был определен для эталонного метода измерения.

#### B.3.2 Измерительная аппаратура

Блок-схема измерительного устройства представлена на рис. В-4/G.651.

##### B.3.2.1 Источник света

Следует использовать некогерентный источник с регулируемой интенсивностью излучения; его положение, интенсивность и длина волны должны оставаться стабильными в течение промежутка времени, достаточного для выполнения измерения. Должна регистрироваться полная на половине максимума ширина (ППМШ) спектра источника. В случае необходимости для освещения оболочки может быть использован второй источник света.

### B.3.2.2 Условия ввода света

Оптическая система ввода света, которая устроена таким образом, чтобы перекрывать числовую апертуру волокна, фокусирует световой луч на плоском торце волокна.

Для градиентных волокон 50/125 мкм условия перекрытия при вводе световой энергии создаются с помощью светового пятна, ППМШ интенсивность которого, измеренная в ближнем поле, превышает 70 мкм, а ППМШ числовой апертуры (NA), измеренная в дальнем поле, превышает 0,3.

### B.3.2.3 Съемник мод оболочки

Для подавления оптической мощности, распространяющейся в оптической оболочке, и обеспечения контроля за подавлением всех мод утечки применяется соответствующий съемник мод оболочки. При измерении только геометрических характеристик оболочки съемник мод оболочки применяться не должен.

### B.3.2.4 Образец

Образец волокна должен представлять собой короткий отрезок измеряемого оптического волокна. С части волокна, введенной в съемник мод, необходимо удалить первичное покрытие. Торцы волокна должны быть чистыми, ровными и перпендикулярными к оси волокна.

*Примечание.* — Это измерение можно выполнять на очень коротких отрезках волокна (например, длиной в несколько сантиметров). В этом случае условия ввода световой энергии регулируются таким образом, чтобы получить равномерную интенсивность света в оптической оболочке — ниже 15% максимальной интенсивности в сердцевине.

### B.3.2.5 Оптическое устройство увеличения

Оптическое устройство увеличения должно включать в себя оптическую систему (например, объектив микроскопа), которая увеличивает выходное изображение ближнего поля образца, фокусируя его в плоскости сканирующего детектора. Числовая апертура и, следовательно, разрешающая способность оптического устройства должны быть согласованы с требуемой точностью измерения и составлять не менее 0,3. Увеличение должно согласовываться с требуемой пространственной разрешающей способностью и регистрироваться.

### B.3.2.6 Детектор

Необходимо применять такой детектор, который обеспечивает регистрацию (от точки к точке) интенсивности увеличенной структуры ближнего поля. Можно, например, использовать любой из следующих способов:

- a) сканирующий фотодетектор с апертурой в виде точечной диафрагмы;
- b) сканирующее зеркало с фиксированной апертурой в виде точечной диафрагмы и фотодетектор;
- c) сканирующие видиконные устройства с зарядовой связью или другие устройства для снятия диаграммы интенсивности.

Детектор должен иметь линейную характеристику во всем диапазоне интенсивности. Светочувствительная площадь детектора должна быть небольшой по сравнению с увеличенным изображением торца волокна и должна регистрироваться.

### B.3.2.7 Усилитель

Для повышения уровня сигнала следует использовать усилитель. Ширину полосы частот усилителя следует выбирать в зависимости от применяемого вида сканирования. При сканировании торца волокна с помощью механических или оптических систем обычно производится модулирование источника света. При этом методе усилитель должен соответствовать частоте модуляции источника. Система детектирования должна иметь практически линейную чувствительность.

### B.3.2.8 Сбор данных

Измеряемое распределение интенсивности в ближнем поле может регистрироваться и представляться в соответствующей форме с учетом способа сканирования и технических требований.

## B.3.3 Процедура

### B.3.3.1 Калибровка аппаратуры

Увеличение оптической системы следует определить заранее, сканируя отрезки волокна, размеры которого уже точно известны; данные необходимо регистрировать.

### B.3.3.2 Измерение

Торец волокна, в который вводится свет, направляется вдоль оси пучка света, а выходной торец — вдоль оптической оси оптического усилителя. Сфокусированное изображение выходного торца волокна должно сканироваться детектором в соответствии с техническими требованиями. Для сведения к минимуму погрешностей, обусловленных расфокусировкой изображения, фокусировка должна выполняться с максимальной точностью.

### B.3.4 Представление результатов

Указываются следующие данные:

- a) Схема измерительного устройства с указанием применяемого способа сканирования.
- b) Характеристики ввода света (размер и числовая апертура светового конуса).
- c) Длина волны и ППМШ спектра источника (источников).
- d) Определение и длина волокна.
- e) Тип съемника мод (если он используется).
- f) Увеличение аппаратуры.
- g) Тип и размеры сканирующего детектора.
- h) Температура образца и условия окружающей среды (в случае необходимости).
- i) Указание точности и воспроизводимости измерений.
- j) В соответствии с техническими требованиями:
  - i) профили через центры сердцевины и оболочки;
  - ii) профили вдоль главной и малой осей сердцевины;
  - iii) профили вдоль главной и малой осей оболочки;
  - iv) растровое сканирование по всему сечению волокна (если оно используется);
  - v) результирующие параметры, такие как диаметры сердцевины и оболочки<sup>2)</sup>, погрешность концентричности сердцевины и оболочки, некруглость сердцевины и оболочки и т.д.

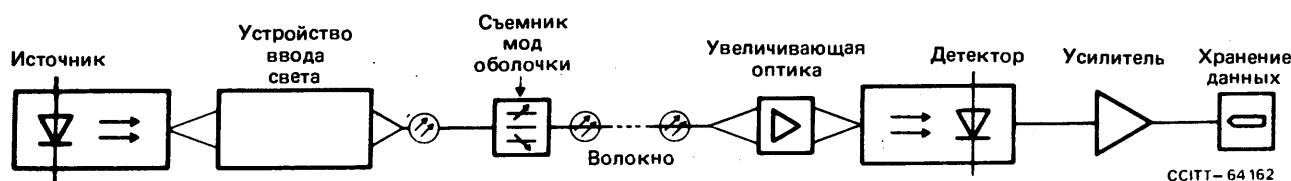


РИСУНОК В-4/G.651

Типовая схема устройства для измерений в ближнем поле

### B.4 Этalonный метод измерения числовой апертуры: распределение в дальнем поле

#### B.4.1 Объект измерения

Рассматриваемый метод измерения применяется для градиентных волокон с целью определения числовой апертуры посредством измерения распределения в дальнем поле.

#### B.4.2 Подготовка образца

От измеряемого волокна берется отрезок длиной около 2 м. Образец должен быть достаточно прямым, чтобы избежать затуханий, обусловленных изгибами. Торцы образца должны быть чистыми, ровными и перпендикулярными оси волокна.

<sup>2)</sup> См. приложение I.

## B.4.3 Аппаратура

### B.4.3.1 Источник

Следует использовать некогерентный источник с регулируемой интенсивностью излучения; его положение, интенсивность и длина волны должны оставаться стабильными в течение промежутка времени, который достаточен для выполнения измерения.

### B.4.3.2 Детектор

Детектор должен иметь линейную характеристику в требуемом диапазоне измерений. (Выходной ток детектора должен находиться в линейной зависимости от получаемой мощности света.)

### B.4.3.3 Условия ввода света

См. § B.3.2.2.

### B.4.3.4 Съемник мод

См. § B.3.2.3.

### B.4.3.5 Дисплей

Например, координатный самописец (ХУ-самописец), экран.

## B.4.4 Процедура

### B.4.4.1 Принцип измерения (рис. В-5/G.651)

Радиантная интенсивность (мощность света на единицу телесного угла) определяется в зависимости от полярного угла в одной плоскости, которая проходит через ось волокна (диаграмма излучения). Расстояние между торцом образца и детектором должно быть большим по отношению к диаметру сердцевины оптического волокна.

Возможны следующие решения:

- неподвижный образец, неподвижный детектор с большой площадью;
- неподвижный образец, подвижный детектор с небольшой площадью;
- подвижный линейный образец, неподвижный детектор с небольшой площадью;
- неподвижный образец, подвижный детектор с переменным углом и небольшой площадью;
- образец с вращающимся торцом, неподвижный детектор с небольшой площадью.

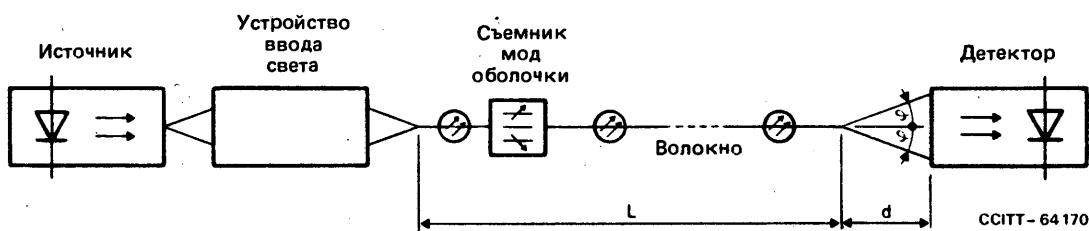


РИСУНОК В-5/G.651

Принцип устройства для измерения распределения света в дальнем поле

### B.4.4.2 Подготовка

Образец закрепляется в держателе, и свет вводится в соответствии с § B.4.3.3.

### B.4.4.3 Измерение

Радиантная интенсивность определяется в зависимости от полярного угла в одной плоскости оси волокна.

#### B.4.5 Результаты

Волокна, рассматриваемые в настоящей Рекомендации, имеют профиль, близкий к параболическому. Следовательно, для условий ввода света, рекомендованных в § B.4.3.3 (равномерное распределение мод), кривая интенсивности излучения в дальнем поле может быть аппроксимирована в области, которая расположена на 10% выше максимальной интенсивности, следующей параболой:

$$P(\varphi) = P(0) [1 - (\sin \varphi / NA)^2].$$

Затем по точке пересечения этой параболы с абсциссой определяется угол  $\varphi$ . Как правило, для определения угла  $\varphi$  достаточно взять 5% максимальной интенсивности излучения на полной кривой излучения.

Числовая апертура есть:

$$NA = \sin \varphi.$$

#### B.4.6 Представление результатов

Указываются следующие данные:

- a) Схема измерительного устройства с указанием применяемого метода сканирования.
- b) Характеристики ввода света (размер и числовая апертура вводимого конуса).
- c) Длина волны и ППМШ спектра источника.
- d) Тип съемника мод оболочки (если он используется).
- e) Условия сканирования.
- f) Определение и длина волокна.
- g) Температура образца и условия окружающей среды (в случае необходимости).
- h) Указание точности и воспроизводимости измерений.
- i) Полученная числовая апертура.

### ПРИЛОЖЕНИЕ I

(к Разделу I)

В настоящем приложении описывается возможный метод определения положения центров сердцевины и оболочки, а также их диаметров.

#### I.1 Центр и диаметр сердцевины

Центр и диаметр сердцевины определяются на основе соответствующего количества сканирований поперечного сечения волокна с соответствующим коэффициентом  $k$ . Каждое сканирование дает две точки на границе сердцевина/оболочка. Точки должны равномерно (хотя бы приблизительно) распределяться по периметру сердцевины.

Пусть

$x_i, y_i$  — это декартовы координаты  $i$ -той точки границы,

$a_c, b_c$  — это декартовы координаты центра сердцевины,

$R_c$  — это радиус сердцевины,

$z, m_i$  — это промежуточные переменные  $z = a_c^2 + b_c^2 - R_c^2$  и  $m_i = x_i^2 + y_i^2$ .

Неизвестные параметры  $a_c$ ,  $b_c$  и  $R_c$  получают посредством определения окружности, которая по оценке наименьших квадратов лучше всего выражает экспериментальную границу между сердцевиной и оболочкой. Алгоритм вычисления заключается в получении минимальной величины (с учетом параметров  $a_c$ ,  $b_c$  и  $z$ ):

$$\begin{aligned} M &= \sum_i \left[ (x_i - a_c)^2 + (y_i - b_c)^2 - R_c^2 \right]^2 \\ &= \sum_i (x_i^2 + y_i^2 - 2a_c x_i - 2b_c y_i + z)^2. \end{aligned}$$

Обращение в нуль трех частных производных  $M$  по отношению к  $a_c$ ,  $b_c$  и  $z$  дает систему трех линейных уравнений в такой матричной форме:

$$\begin{bmatrix} 2 \sum_i x_i^2 & 2 \sum_i x_i y_i & -\sum_i x_i \\ 2 \sum_i x_i y_i & 2 \sum_i y_i^2 & -\sum_i y_i \\ 2 \sum_i x_i & 2 \sum_i y_i & -N \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a_c \\ b_c \\ z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sum_i m_i x_i \\ \sum_i m_i y_i \\ \sum_i m_i \end{bmatrix}$$

Суммы вычисляются от  $i = 1$  до  $i = N$ ,  
где  $N$  — суммарное число измерительных величин.

Числовая инверсия этой системы дает значения  $a_c$ ,  $b_c$  и  $z$ , из которых выводится значение  $R_c$ .

Центр сердцевины является точкой с координатами  $a_c$  и  $b_c$ , а ее диаметр — это величина  $D_c = 2R_c$ .

## 1.2 Центр и диаметр оболочки

Используются тот же способ расчета и те же определения, что и для сердцевины, чтобы найти:

- координаты центра оболочки  $a_g$  и  $b_g$ ,
- радиус оболочки  $R_g$ .

Центр оболочки есть точка с координатами  $a_g$  и  $b_g$ , а ее диаметр — это величина  $D_g = 2R_g$ .

# Раздел II – Эталонный метод и альтернативные методы измерения затухания

## B.1 Введение

### B.1.1 Задачи

Измерения затухания имеют своей целью получение возможности определения величины затухания отрезков волокна так, чтобы можно было сложить отдельные величины затухания для определения полного затухания на длине, которая состоит из нескольких отрезков волокна.

### B.1.2 Определение

Затухание  $A(\lambda)$  при длине волны  $\lambda$  между двумя поперечными сечениями волокна 1 и 2, которые находятся друг от друга на расстоянии  $L$ , определяются по формуле:

$$A(\lambda) = 10 \log \frac{P_1(\lambda)}{P_2(\lambda)} \quad (\text{дБ}),$$

где  $P_1(\lambda)$  — оптическая мощность, проходящая через сечение 1, а  $P_2(\lambda)$  — оптическая мощность, проходящая через сечение 2. Для однородного волокна в равновесном состоянии можно рассчитать величину затухания на единицу длины, то есть коэффициент затухания:

$$\alpha(\lambda) = \frac{A(\lambda)}{L} \left[ \frac{\text{дБ}}{\text{единица длины}} \right],$$

который не зависит от длины волокна.

*Примечание.* — Значения затухания, определяемые для строительных длин, должны измеряться при комнатной температуре (то есть одно значение в температурном диапазоне от  $+10^\circ\text{C}$  до  $+35^\circ\text{C}$ ).

### B.1.3 Описание

Были предложены три метода измерения затухания.

B.1.3.1 *Метод среза волокна* представляет собой непосредственное применение определения затухания, при котором уровни мощности  $P_1$  и  $P_2$  измеряются в двух точках волокна без изменения условий ввода.  $P_2$  — это выходная мощность, исходящая из конца волновода, а  $P_1$  — это мощность, исходящая из точки, которая расположена около входа после среза волокна.

B.1.3.2 *Метод вносимого затухания* в принципе аналогичен предыдущему, за исключением того, что  $P_1$  — это мощность на выходе системы ввода света. Измеряемое затухание есть сумма затуханий в волокне и затухания, которое обусловлено соединением между системой ввода и испытываемым волокном. Результат должен быть откорректирован на затухание в соединении.

B.1.3.3 *Метод обратного рассеяния* — это косвенный метод измерения затухания путем измерения величины мощности света, которая рассеивается в обратном направлении в двух поперечных сечениях волокна.

### B.1.4 Область применения

Общепризнанно, что метод среза дает точные результаты. Но во многих случаях его недостатком является разрушительный характер.

Метод вносимого затухания позволяет избежать обрыва волокна, но в ущерб точности.

Метод обратного рассеяния позволяет провести измерения с одного конца волокна и не является разрушающим, но ограничен по диапазону величин, а иногда и по точности.

После рассмотрения соответствующих преимуществ и недостатков этих методов в качестве эталонного был выбран метод среза.

## B.2 Эталонный метод измерения: метод среза

### B.2.1 Условия ввода света

#### B.2.1.1 Определение условий ввода света

Условия ввода света имеют решающее значение для соблюдения установленных норм. Они должны обеспечивать приближение к равновесному распределению мод (ЕМД), когда распределение мощности в диаграмме поля на выходе волокна совершенно не зависит от длины волокна.

#### B.2.1.2 Способы ввода света

Общая блок-схема устройства, которое обеспечивает условия ввода света с равновесным распределением мод, показана на рис. В-6/G.651.

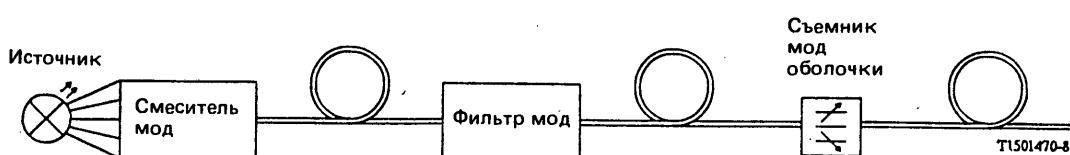


РИСУНОК В-6/G.651

Общие условия ввода света

### B.2.1.2.1 Съемник мод оболочки

- Съемник мод оболочки представляет собой устройство, которое обеспечивает преобразование мод оболочки в моды излучения; в результате моды оболочки удаляются из волокна.

### B.2.1.2.2 Фильтр мод

Фильтр мод представляет собой устройство, которое используется для селекции, подавления или ослабления определенного числа мод; этот фильтр должен обеспечивать распределение мод, близкое к равновесному.

### B.2.1.2.3 Смеситель мод

Смеситель мод представляет собой устройство, которое служит для стимулирования обмена мощностью между модами в оптическом волокне; оно должно обеспечивать распределение мод независимо от характеристик источника.

*Примечание.* — Для осуществления распределения мод, близкого к равновесному, непосредственно на входном конце испытываемого волокна могут использоваться соответствующие оптические устройства. В этом случае для реализации трех функций, представленных на рис. B-6/G.651, достаточно одного устройства.

### B.2.1.3 Пример

Для однородного градиентного волокна 50/125 мкм с малыми потерями, числовой апертурой 0,2 и рабочей длиной волны 850 нм распределение мод, близкое к равновесному, может быть получено для отрезка волокна, который предназначен для испытаний, если соблюдаются следующие характеристики:

- a) полное на половине максимума значение интенсивности светового пятна, измеренное в ближнем поле, составляет 26 мкм;
- b) полное на половине максимума значение числовой апертуры, измеренное в дальнем поле, составляет 0,11 мкм.

Предполагается, что диаграммы и ближнего, и дальнего полей приблизительно гауссовые.

Чтобы получить такое равновесное состояние, можно использовать схему, которая представлена на рис. B-6/G.651.

Вводимый пучок света образует в вводном торце волокна световое пятно в центре сердцевины с полным на половине максимума значением интенсивности в ближнем поле не менее 70 мкм и полным на половине максимума значением числовой апертуры в дальнем поле не менее 0,3 в центральной части пятна 70 мкм (для волокна с  $NA < 0,25$ ).

Ось вводимого пучка света совпадает с осью волокна.

Смеситель мод должен иметь соответствующий набор волокон (например, последовательность со ступенчатым показателем градиентного преломления или последовательность различных изгибов).

Фильтр мод имеет форму стержня, на котором намотано испытываемое волокно с небольшим натяжением на расстоянии 20 мм.

Диаметр стержня может меняться для различных волокон, обычно он колеблется в пределах от 18 до 22 мм и имеет пять витков волокна.

Точный диаметр стержня определяется поставщиком кабеля и волокна таким образом, чтобы диаграммы ближнего и дальнего полей, полученные для отрезка волокна длиной 2 м, который идет после фильтра мод оболочки, были такими же, как и диаграммы, полученные на отрезке волокна или на сращенных волокнах с равновесным распределением мод (длиной, как правило, свыше 5 км).

Съемник мод оболочки часто изготавливается из материала с показателем преломления, равным или превышающим показатель преломления оболочки волокна.

## B.2.2 Аппаратура и процедура

### B.2.2.1 Виды измерений

Измерения могут проводиться на одной или нескольких длинах волны светового пятна. Кроме того, может возникнуть необходимость выполнить измерения в диапазоне длин волн. Блок-схемы измерительного устройства в качестве примера приведены на рис. B-7/G.651 и B-8/G.651.

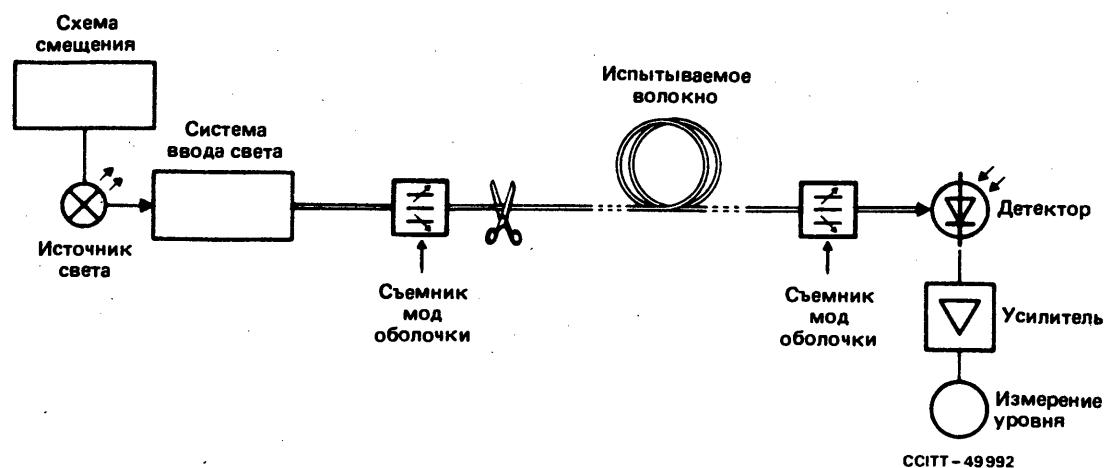


РИСУНОК В-7/G.651

Схема оборудования для измерения затухания по длине волны светового пятна

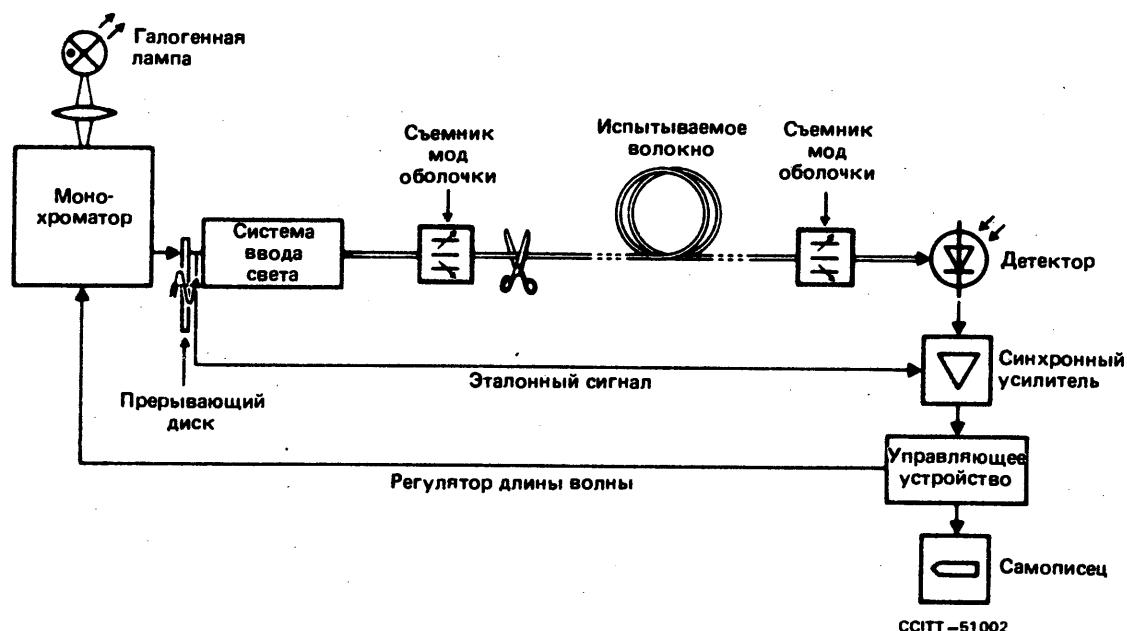


Схема оборудования для измерения диапазона величин затухания

РИСУНОК В-8/G.651

Метод среза

### B.2.2.2 *Оптический источник*

Используется соответствующий источник излучения, например, лампа или светодиод (LED). Выбор источника зависит от вида выполняемого измерения. Положение, интенсивность и длина волны источника должны оставаться стабильными в течение промежутка времени, достаточного для выполнения измерения. ППМШ спектра должна быть узкой по сравнению с любой характеристикой спектрального затухания волокна.

Волокно должно быть сцентрировано на конус ввода света или соединено коаксиально с волокном ввода света.

### B.2.2.3 *Оптический детектор*

Следует использовать детектор с большой апертурой, чтобы улавливать все излучения выходного (ых) конуса (ов). Спектральная характеристика должна соответствовать спектральным характеристикам источника. Детектирование должно быть единообразным и иметь линейные характеристики.

Обычно световой источник модулируется для улучшения отношения сигнал/шум в приемнике. В случае использования этого метода необходимо подключить детектор к системе обработки сигнала, синхронной с частотой модуляции источника. Система детектирования должна иметь практически линейную чувствительность.

### B.2.2.4 *Условия ввода света*

См. § B.2.1.

### B.2.2.5 *Процедура*

- 1) Испытываемое волокно помещается в измерительное устройство. Регистрируется выходная мощность  $P_2$ .
- 2) Оставляя условия ввода света без изменений, волокно обрезают, оставляя необходимую длину (например, 2 м от точки ввода света). Выходная мощность  $P_1$  оставшегося отрезка регистрируется.
- 3) На основании значений  $P_1$  и  $P_2$  по определению можно вычислить затухание волокна между точками, в которых были измерены  $P_1$  и  $P_2$ .

## B.2.3 *Представление результатов*

Должны быть представлены следующие данные:

- a) Вид измерения и характеристики.
- b) Способ ввода света.
- c) Практическая организация измерения.
- d) Температура образца и условия окружающей среды (в случае необходимости).
- e) Определение волокна.
- f) Длина образца и длина оставшегося отрезка.
- g) Измеренное затухание (для образца) при выбранной длине волны.
- h) Затухание, выраженное в дБ. В некоторых случаях его можно преобразовать в коэффициент затухания, выраженный в дБ/км.
- i) При измерениях спектрального затухания результаты должны быть представлены в виде кривой зависимости затухания от длины волны.

## B.3 *Первый альтернативный метод измерения: метод вносимого затухания*

### B.3.1 *Условия ввода света*

Требуемые условия ввода света аналогичны описанным в § B.2.1.

### B.3.2 *Аппаратура и процедуры*

#### B.3.2.1 *Виды измерений*

Измерения могут выполняться на одной или нескольких длинах волн; кроме того, спектральная характеристика может измеряться в диапазоне длин волн. Соответствующая блок-схема представлена на рис. B-9/G.651 (а — калибровка, б — измерение).

### B.3.2.2 *Оптический источник*

См. § B.2.2.2.

### B.3.2.3 *Оптический детектор*

См. § B.2.2.3.

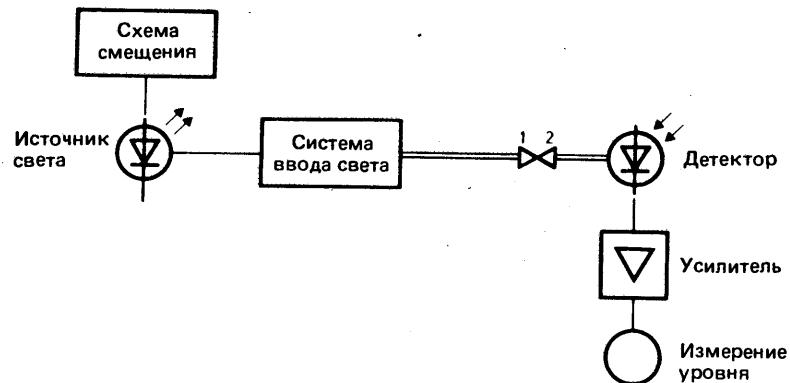
### B.3.2.4 *Условия ввода света*

См. § B.2.1.

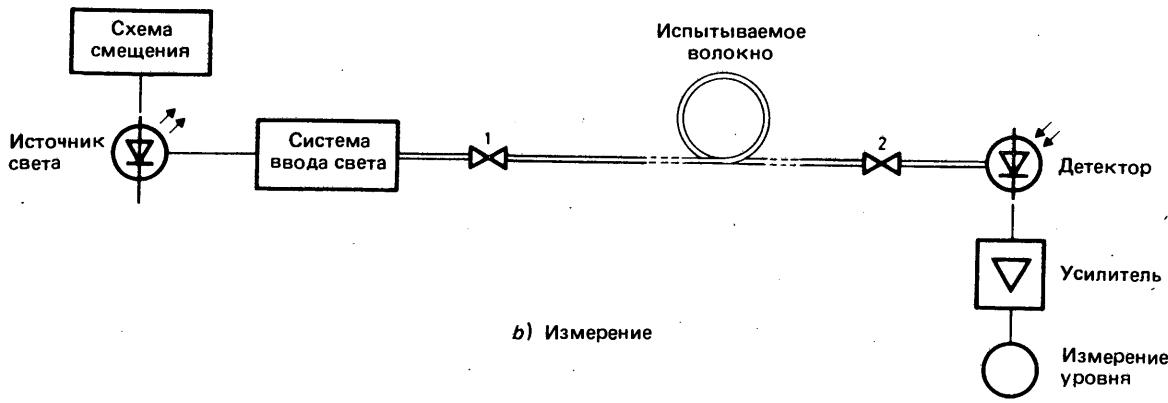
### B.3.2.5 *Устройство связи*

При использовании метода вносимого затухания требуется очень точное устройство связи волокна с волокном, чтобы свести к минимуму потери в соединениях и обеспечить надежность результатов.

Это устройство связи может представлять собой механический прибор центрирования с визуальным контролем или соединитель, в котором торцы сердцевины должны располагаться встык по отношению друг к другу.



a) Калибровка



b) Измерение

CCITT-59 590

РИСУНОК В-9/G.651

Метод вносимого затухания

### B.3.2.6 Процедура

- 1) Для получения входного эталонного уровня мощности  $P_1$  первоначально калибруется измерительное устройство.
- 2) Испытываемое волокно помещается в измерительное устройство, и устройство связи регулируется до получения в оптическом детекторе максимального уровня. Регистрируется выходная мощность  $P_2$ .
- 3) Затухание вычисляется в соответствии с § 1.2. Оно представляет собой сумму затухания испытываемого волокна и затухания, обусловленного соединением между устройством связи и испытываемым волокном.

### B.3.3 Представление результатов

Должны быть представлены следующие данные:

- a) Вид измерения и характеристики.
- b) Способ ввода света.
- c) Практическая организация измерения.
- d) Температура образца и условия окружающей среды (в случае необходимости).
- e) Определение волокна.
- f) Длина образца.
- g) Измеренное затухание (для образца) при выбранной длине волны.
- h) Затухание в соединителе и допуски на него.
- i) Затухание, выраженное в дБ. В некоторых случаях его можно преобразовать в коэффициент затухания, выраженный в дБ/км.
- j) При измерениях спектрального затухания результаты должны быть представлены в виде кривой зависимости затухания от длины волны.

### B.4 Второй альтернативный метод измерения: метод обратного рассеяния

*Примечание.* — Описывается процедура измерения затухания однородного образца волоконно-оптического кабеля. Этот метод может быть использован для контроля оптической непрерывности, физических дефектов, сростков, обратного рассеяния света в волоконно-оптических кабелях и длины волны.

#### B.4.1 Условия ввода света

Для измерения затухания могут быть применены методы, описанные в § 2.1. В других случаях условия ввода света иногда зависят от измеряемых параметров.

Во всех случаях для ограничения френелевских отражений на входе волокна можно применять различные устройства, такие как поляризаторы или материалы с согласующимися показателями преломления. Вносимое затухание должно быть сведено к минимуму.

#### B.4.2 Аппаратура и процедура

##### B.4.2.1 Общие соображения

Уровень оптического сигнала с обратным рассеянием, как правило, невысок и близок к уровню шума. Поэтому для улучшения отношения сигнал/шум и динамического диапазона измерений обычно используется световой источник большой мощности в сочетании с обработкой детектируемого сигнала. Кроме того, для обеспечения точного пространственного разрешения может потребоваться регулировка длительности импульсов с целью достижения компромисса между разрешающей способностью и энергией импульса. Чтобы свести к минимуму френелевские отражения, необходимо применять специальные меры. Пример устройства представлен на рис. B-10/G.651.

##### B.4.2.2 Оптический источник

Следует использовать оптический источник со стабильно высокой мощностью и соответственной длиной волны, например, полупроводниковый лазер. Длину волны источника следует регистрировать. Длительность и частота повторения импульсов должны быть совместимы с требуемой разрешающей способностью и длиной волокна. Нелинейные оптические эффекты в испытываемом отрезке волокна должны подавляться.

#### B.4.2.3 *Оптическое детектирование*

Для улавливания максимально возможной мощности обратного рассеяния необходимо применять соответствующий детектор. Характеристика детектора должна соответствовать уровням и длинам волны детектируемого сигнала. Для измерения затухания характеристика детектора должна быть практически линейной.

Для улучшения отношения сигнал/шум требуется обработка сигнала; желательно, чтобы этот детектор имел логарифмическую характеристику.

За оптическим детектором должен следовать соответствующий усилитель, что позволит получить уровень сигнала, достаточный для обработки сигнала. Ширина полосы усилителя должна быть выбрана как компромисс между временной разрешающей способностью и снижением помех.

#### B.4.2.4 *Условия ввода света*

См. §§ B.2.1 и B.4.1.

#### B.4.2.5 *Процедура*

- 1) Испытываемое волокно центрируется с устройством связи.
- 2) Мощность обратного рассеяния сканируется устройством обработки сигнала и регистрируется в логарифмическом масштабе. Такая типичная кривая представлена на рис. B-10/G.651.
- 3) Если записанная кривая имеет приблизительно постоянную крутизну (участок b на рис. B-10b/G.651), то затухание между точками A и B этой кривой, которые соответствуют двум поперечным сечениям волокна, определяется по формуле:

$$A(\lambda) = \frac{1}{2} (V_A - V_B) \text{ дБ},$$

где  $V_A$  и  $V_B$  — это соответствующие уровни мощности, представленные в логарифмическом масштабе.

- 4) В случае необходимости можно выполнять двусторонние измерения совместно с вычислениями, чтобы улучшить качество результатов и получить возможность отличать крутизну от влияния неоднородностей.

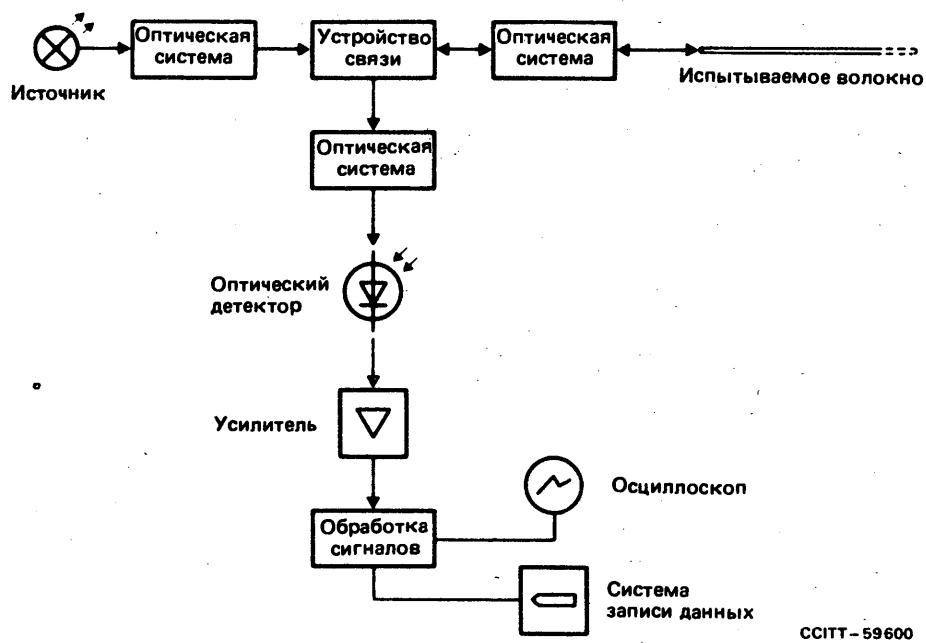
#### B.4.3 *Представление результатов*

Должны быть представлены следующие данные:

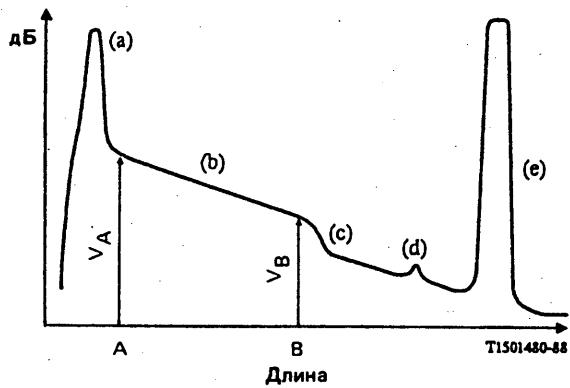
- a) Виды измерений и характеристики.
- b) Способ ввода света.
- c) Практическая организация измерений.
- d) Температура образца и условия окружающей среды (в случае необходимости).
- e) Определение волокна.
- f) Длина образца.
- g) Время нарастания, ширина и частота повторения импульса.
- h) Вид обработки сигнала.
- i) Кривая затухания образца, вычерченная в логарифмическом масштабе, а в некоторых случаях — коэффициент затухания, выраженный в дБ/км.

Полный анализ вычерченной кривой (рис. B-10/G.651) показывает, что независимо от измерения затухания метод обратного рассеяния дает возможность наблюдать за многими явлениями, такими как:

- a) отражение, вызываемое устройством связи на входном конце волокна;
- b) участок постоянной крутизны;
- c) нарушение однородности вследствие местных дефектов, сростка или связи;
- d) отражение вследствие дефекта диэлектрика;
- e) отражение на конце волокна.



a) Схема устройства



b) Типичная кривая мощности обратного рассеяния

РИСУНОК В-10/G.651

Метод обратного рассеяния

## B.1 Цель

Характеристика основной полосы частот волокна может быть представлена во временной области либо по ее импульсной характеристике  $g(t)$ , либо по ее частотной характеристике  $G(f)$ . Функцию  $g(t)$  можно определить как функцию, которая при свертке входного импульса оптической мощности волокна дает выходной импульс оптической мощности волокна.  $G(f)$  – это отношение на любой частоте между амплитудой синусоидальной модуляции оптической мощности на выходе волокна и амплитудой синусоидальной модуляции оптической мощности на выходе волокна.

Характеристики основной полосы частот в частотной и временной областях в линейной системе связанны по следующей формуле:

$$G(f) = \int_{-\infty}^{+\infty} g(t) \exp(-j2\pi ft) dt.$$

Характеристика основной полосы частот представлена в частотной области.

Если желательно получить характеристики во временной области, то следует воспользоваться математическими операциями. Для этого необходимо знать как амплитуду, так и фазовую характеристику.

По ширине амплитудно-частотная характеристика определяется точкой  $-3$  дБ оптической ( $-6$  дБ электрической) ширины полосы амплитудно-частотной характеристики. Необходимо также давать и более полную кривую.

Чтобы при выполнении измерений свести к минимуму расхождения, которые связаны с частотными характеристиками неправильной формы, для частотной характеристики  $G(f)$  можно использовать гауссову функцию.

Никаких рекомендаций относительно значений фазы не дается, так как фазовая характеристика требуется лишь в особых случаях.

## B.2 Эталонный метод измерения

### B.2.1 Измерительное устройство

Блок-схема измерительного устройства представлена на рис. В-11/G.651.

#### B.2.1.1 Источник света

Следует использовать лазерный источник света. Его положение, интенсивность и длина волны должны быть стабильными. Центральная длина волны ( $\lambda$ ) должна находиться в пределах  $\pm 20$  нм от номинального значения, которое выбрано из диапазонов, приведенных в таблице В-1/G.651; кроме того, ППМШ спектра ( $\Delta\lambda$ ) не должна превышать соответствующее значение, которое приведено в этой таблице.

ТАБЛИЦА В-1/G.651

Спектр источника

$\lambda$ (нм)	$\Delta\lambda$ (нм)
800–900	5
1200–1350	10

Устройство, которое используется для импульсной или синусоидальной модуляции лазера, должно быть способно работать на частотах, превышающих частоту, на которой частотная характеристика испытуемого волокна падает до оптического уровня  $-3$  дБ.

Максимальное излучение должно значительно превышать спонтанное излучение, а глубина модуляции должна быть настолько большой, насколько позволяет коэффициент погасания, чтобы получить максимальное отношение сигнал/шум. Следует не допускать самопроизвольной модуляции источника.

Если выбранный модулирующий сигнал является синусоидальным, то на каждой частоте амплитуда выходной модуляции делится на амплитуду входной модуляции. Если же выбранный модулирующий сигнал представляет собой многокомпонентный импульс, то в качестве предварительного шага необходимо выполнить преобразование Фурье с использованием либо аналоговой фильтрации, либо цифровой обработки получаемого сигнала.

### B.2.1.2 Условия ввода света

Надлежащие условия измерений могут достигаться двумя способами:

- a) равномерное распределение мощности мод (избыточное введение света) с равномерным пространственным распределением, которое превышает сердцевину волокна, и угловым распределением Ламберта, которое соответствует числовой апертуре испытываемого волокна;
- b) ввод света в установившемся режиме, который близко аппроксимирует реальные условия установившегося режима.

*Примечание к пункту b).* — Следует принимать меры для того, чтобы условия ввода света не ограничивали возбуждение мод ниже установившегося режима, в особенности для длин меньше 2 км.

### B.2.1.3 Детектор

Для приема полного объема мод с выхода волокна следует использовать высокоскоростной фотодиод.

Ширина полосы фотодиода и соответствующие электронные устройства должны быть достаточными, чтобы обеспечить требуемое отношение сигнал/шум на самой высокой частоте, на которой должны быть зарегистрированы результаты. Система детектирования должна быть линейной по отношению к входной мощности в пределах измеряемых значений. В том случае, когда детектор имеет недостаточно линейный диапазон, может потребоваться фильтр нейтральной плотности, предварительно откалибранный на рабочей длине волны, для ослабления слишком сильного сигнала таким образом, чтобы детектор всегда использовался в своем диапазоне линейной чувствительности.

### B.2.1.4 Представление результатов

Система представления результатов должна обеспечивать запись или визуальную индикацию амплитуды выходной модуляции по кривой "калиброванная мощность или логарифм мощности/частота". В случае импульсной модуляции возможен промежуточный этап с записью формы импульса на калиброванной временной шкале.

## B.2 Процедура

### B.2.2.1 Подготовка испытываемого волокна

С частей волокна, которые должны быть помещены в съемник мод оболочки, следует удалить первичное покрытие.

Концы волокна должны быть чистыми, ровными и перпендикулярными к оси волокна. При измерении волокон, не объединенных в кабель, волокно снимается с катушки, чтобы исключить связь мод вследствие внешней наводки.

### B.2.2.2 Измерения

Вначале передатчик и приемник соединяются коротким оптическим соединительным кабелем, а мощность передатчика регулируется таким образом, чтобы сигнал попал в линейный диапазон приемника. Для использования этого метода в качестве эталонного метода измерения нужно, чтобы выбранная на этом этапе характеристика сохранялась и для дальнейшего использования в виде импульсной или частотной.

Затем испытываемое волокно помещается между передатчиком и приемником и производятся измерение и регистрация выходного сигнала. После этого при использовании в качестве эталонного метода измерения одиночных волокон испытываемое волокно обрезается на определенном расстоянии от съемника мод оболочки (если он используется) или от фильтра мод и, следя за тем, чтобы не нарушились условия ввода света, выполняется измерение и регистрация выходного сигнала этого отрезка волокна. Рабочая площадь фотодиода приемника по возможности должна быть одинаковой на всех этапах.

Оба ряда значений амплитуды в частотной области, полученных непосредственно или посредством преобразования из временной области, которые соответствуют выходному сигналу испытываемого волокна и присущей прибору характеристике (включая остающийся отрезок волокна), для каждой частоты делятся первые на вторые или вычитаются, если они представлены в логарифмическом масштабе, для получения частотной характеристики волокна.

## B.2.3 Представление результатов

Должны быть представлены следующие данные:

- Вид измерения и характеристики.
- Способ ввода света.
- Практическая организация измерения, включая длину волны и ППМШ.
- Температура образца и условия окружающей среды (в случае необходимости).
- Определение волокна.
- Длина образца.
- Ширина полосы (включая эффекты хроматической дисперсии), которая определяется оптической точкой  $-3$  дБ амплитудно-частотной характеристики, а в случае необходимости — полной амплитудно-частотной и/или фазовой характеристикой.
- В случае необходимости для строительной длины значение ширины полосы приводится к 1 км (следует указать примененную формулу).
- Как указано в пункте g), измеряемая ширина полосы включает в себя эффекты модовых искажений и хроматической дисперсии. В случае необходимости модовая ширина полосы  $B_{\text{mod}}$  (МГц) (если и модовая полоса волокна, и спектр источника принимаются гауссовыми) может определяться по следующей формуле:

$$B_{\text{mod}} = \left[ (1/B_T)^2 - (D(\lambda) \Delta\lambda \cdot L \cdot 10^{-6} / 0,44)^2 \right]^{-1/2},$$

где  $B_T$  — измеренная ширина полосы волокна,

$D(\lambda)$  — коэффициент хроматической дисперсии [пс/(нм · км)],

$\Delta\lambda$  — ППМШ спектра источника (нм),

$L$  — длина волокна (км).

*Примечание.* — Вышеуказанные аппаратура и процедура включают в себя лишь самые основные характеристики эталонного метода измерения. Предполагается, что при тщательной регулировке аппаратуры будут приниматься все необходимые меры для обеспечения стабильности, подавления помех и т.д. и что при любой процедуре обработки данных, включая дискретизацию, функции взвешивания и т.д., преимущества и недостатки выбранных методов будут оценены правильно.

В результаты следует включать данные о процедурах вместе с количественной информацией.

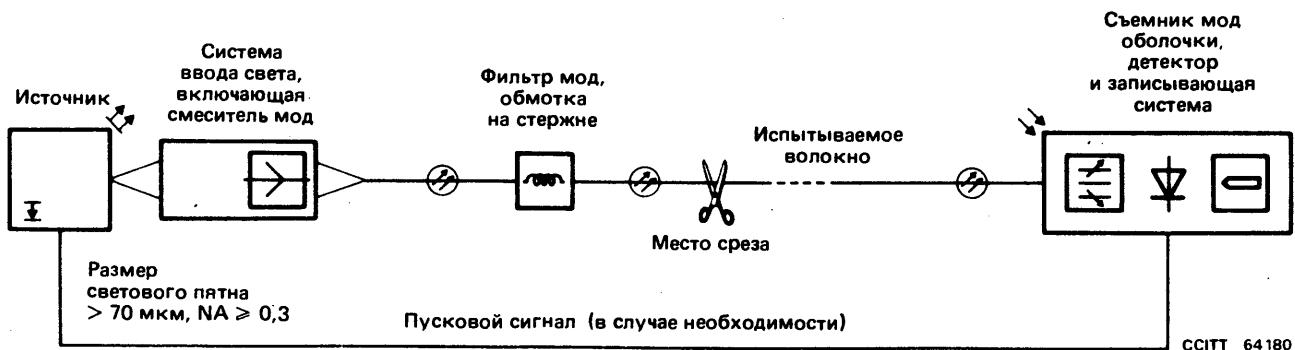


РИСУНОК В-11/G.651

Типовая схема измерительного устройства

## ХАРАКТЕРИСТИКИ ОДНОМОДОВЫХ ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКИХ КАБЕЛЕЙ

(Малага-Торремолинос, 1984 г.; изменена в Мельбурне, 1988 г.)

МККТТ,

учитывая,

- a) что одномодовые волоконно-оптические кабели найдут широкое применение в будущих сетях электросвязи;
- b) что предусматриваемое их использование может потребовать нескольких типов одномодовых волокон, отличающихся по:
  - геометрическим характеристикам;
  - рабочей длине волны;
  - затуханию, дисперсии, длине волны среза и другим оптическим характеристикам;
  - аспектам механических воздействий и воздействий окружающей среды;
- c) что при достаточно успешном изучении практического применения можно будет подготовить рекомендации по различным типам одномодовых волокон,

рекомендует

одномодовое волокно, которое имеет длину волны с нулевой дисперсией около 1300 нм, характеристики которого оптимизированы для использования на длинах волн около 1300 нм и которое может быть использовано в диапазоне около 1550 нм (длина волны, для которой характеристики волокна не оптимизированы).

Это волокно может применяться как для аналоговой, так и для цифровой передачи.

Его геометрические и оптические характеристики, характеристики передачи, а также соответствующие методы измерения описаны ниже.

Значение терминов, используемых в настоящей Рекомендации, содержится в приложении А, а указания, которых необходимо придерживаться при выполнении измерений с целью проверки различных характеристик, содержатся в приложении В. Приложения А и В могут стать отдельными Рекомендациями после того, как будут согласованы дополнительные Рекомендации по одномодовым волокнам.

### 1 Характеристики волокон

В § 1 приведены только те характеристики волокна, которые необходимы при его производстве. Из них длина волны среза волокна в кабеле может наиболее существенно изменяться в процессе производства или при прокладке кабеля. Остальные рекомендуемые характеристики в равной мере относятся к отдельным волокнам, входящим в кабель, который намотан на барабан, и к волокнам в проложенном кабеле.

В настоящей Рекомендации рассматриваются волокна с名义ально круглым модовым полем.

#### 1.1 Диаметр модового поля

Номинальное значение диаметра модового поля при 1300 нм должно находиться в пределах от 9 до 10 мкм. Отклонение от этой величины не должно превышать  $\pm 10\%$  номинального значения.

*Примечание 1.* — Обычно для волокон с оболочкой без "провала" показателя преломления используется значение 10 мкм, а для волокон с оболочкой, имеющей "провал" показателя преломления, — 9 мкм. Однако выбор конкретного значения в указанных пределах необязательно связан с определенным типом волокна.

*Примечание 2.* — Следует отметить, что требование к качеству волокна, предназначенного для какого-либо конкретного применения, зависит от основных параметров волокна и систем, то есть от диаметра модового поля, от длины волны среза, от общей дисперсии, от длины волны, на которой работает система, от скорости/частоты передачи, но не в первую очередь от типа волокна.

*Примечание 3.* — Среднее значение диаметра модового поля на практике может отличаться от выше-приведенных значений при условии, что все волокна укладываются в допуск  $\pm 10\%$  от установленного номинального значения.

## 1.2 Диаметр оболочки

Рекомендуемое номинальное значение диаметра оболочки составляет 125 мкм. Отклонение не должно превышать  $\pm 2,4\%$ .

Для некоторых конкретных способов сращивания и требований, предъявляемых к затуханию сростков, могут потребоваться другие допуски.

## 1.3 Погрешность концентричности модового поля

Рекомендуемая величина погрешности концентричности модового поля не должна превышать 1 мкм в диапазоне 1300 нм.

*Примечание 1.* — Для некоторых конкретных способов сращивания и требований, предъявляемых к затуханию сростков, могут оказаться приемлемыми допуски до 3 мкм.

*Примечание 2.* — Погрешность концентричности модового поля и погрешность концентричности сердцевины, представляемые передаваемой освещенностью при использовании длин волн, иных, чем 1300 нм (включая белый свет), эквивалентны. Отклонение центра профиля показателя преломления оси оболочки также, как правило, представляет собой погрешность концентричности модового поля, но если появляется какое-либо расхождение между погрешностью концентричности модового поля, измеренной с помощью эталонного метода, и погрешностью концентричности сердцевины, то первая из них принимается за эталон.

## 1.4 Некруглость

### 1.4.1 Некруглость модового поля

На практике некруглость модового поля волокон с номинально круглыми модовыми полями достаточно мала и не влияет на распространение и сращивание. Поэтому не считается целесообразным рекомендовать для некруглости модового поля конкретное значение. Как правило, при приемке необязательно выполнять измерение некруглости модового поля.

### 1.4.2 Некруглость оболочки

Некруглость оболочки должна быть меньше 2%. Для некоторых конкретных способов сращивания и требований, предъявляемых к затуханию на сростках, будут, по всей вероятности, иметь место другие допуски.

## 1.5 Длина волны среза

Можно различать два используемых типа длины волны среза:

- a) длина волны среза  $\lambda_c$  волокна с первичным покрытием в соответствии с эталонным методом измерения волокна;
- b) длина волны среза  $\lambda_{cc}$  волокна в проложенном кабеле в соответствии с эталонным методом измерения кабеля.

Корреляция измеренных величин  $\lambda_c$  и  $\lambda_{cc}$  зависит от конкретной конструкции волокна и кабеля и от условий выполнения измерений. Вообще  $\lambda_{cc} < \lambda_c$ , но количественное соотношение установить весьма затруднительно. Исключительно важным является обеспечение одномодовой передачи по кабелю минимальной длины между сростками на минимальной рабочей длине волны системы. Этого можно достичь двумя альтернативными методами:

- 1) рекомендовать, чтобы  $\lambda_c$  была меньше 1280 нм; если задается и нижний предел, то  $\lambda_c$  должна быть более 1100 нм;
- 2) рекомендовать, чтобы  $\lambda_{cc}$  была меньше 1270 нм.

*Примечание.* — Необходимо предусмотреть достаточный запас между самой малой допустимой рабочей длиной волны системы  $\lambda_s$ , которая составляет 1270 нм, и самой большой допустимой длиной волны среза кабеля  $\lambda_{cc}$ . Некоторые Администрации предпочитают, чтобы максимальная длина  $\lambda_{cc}$  была равна 1260 нм, что позволяет учесть разброс разных экземпляров волокон и изменения длины волны источника, обусловленные допусками, температурными воздействиями и эффектами старения.

Не следует настаивать на этих двух требованиях: пользователи могут сами определить, какую величину  $\lambda_c$  или  $\lambda_{cc}$  им выбрать, в соответствии со своими конкретными потребностями и применениями. В последнем случае необходимо понимать, что  $\lambda_c$  может превышать 1280 нм.

В том случае, когда пользователь выбирает задание  $\lambda_c$  как в пункте 1), нет необходимости измерять  $\lambda_{cc}$ .

Если же пользователь хочет задавать  $\lambda_{cc}$ , то можно допустить, чтобы  $\lambda_c$  была больше, чем минимальная рабочая длина волны системы, учитывая, что влияние процессов производства и прокладки приводит к величинам  $\lambda_{cc}$ , меньшим минимальной рабочей длины волны системы для самого короткого отрезка кабеля между двумя сростками.

В том случае, когда пользователь хочет задавать  $\lambda_{cc}$ , квалификационные испытания могут оказаться достаточными, чтобы установить, отвечает ли  $\lambda_{cc}$  предъявляемым требованиям.

## 1.6 Параметры затухания в диапазоне 1550 нм

Чтобы обеспечить режим с малым затуханием в диапазоне 1550 нм при использовании оптимизированных на 1300 нм волокон, увеличение затухания 100 витков свободно намотанного с радиусом 37,5 мм волокна при измерении на волне 1550 нм не должно превышать 1,0 дБ.

*Примечание 1.* — Квалификационные испытания могут оказаться достаточными, чтобы убедиться в возможности выполнения данного требования.

*Примечание 2.* — Указанная выше цифра — 100 витков — соответствует приблизительно числу петель, выполняемых во всех муфтах для сращивания на типичном регенерационном участке. Радиус 37,5 мм эквивалентен минимальному радиусу изгиба, общепринятыму для перспективного применения волокон во избежание отказов из-за статистической усталости.

*Примечание 3.* — Если по практическим соображениям для выполнения такой проверки используется менее 100 витков, то число витков не должно быть меньше 40 и прирост затухания должен пропорционально снижаться.

*Примечание 4.* — Если предполагается в муфтах сращивания или в каких-либо других точках системы применять радиусы изгиба меньше, чем 37,5 мм (например, R = 30 мм), то предлагается использовать ту же величину затухания 1,0 дБ для 100 витков.

*Примечание 5.* — Рекомендация относительно затухания на изгибах при длине волны 1550 нм касается использования волокон в различном оборудовании. Влияние изгибов, возникающих при скручивании одномодовых волокон в кабель, на параметры затухания включено в требования к затуханию волокна, которое входит в состав кабеля.

*Примечание 6.* — В случае, когда необходимо выполнить часто повторяющиеся измерения, вместо испытания с применением 100 витков можно использовать один или несколько витков с малым диаметром, что при пониженней точности упростит измерения чувствительности к изгибу при длине волны 1550 нм. В этом случае диаметр петли, число витков и максимально допустимые потери на изгибах необходимо выбирать таким образом, чтобы обеспечить корреляцию с рекомендованной величиной потерь 1,0 дБ при измерениях на 100 витках при радиусе 37,5 мм.

## 1.7 Свойства материалов волокна

### 1.7.1 Материалы, используемые для волокна

Необходимо указывать материалы, из которых изготавливаются волокна.

*Примечание.* — Необходимо соблюдать предосторожность при сращивании методом сварки волокон, изготовленных из разных веществ. Предварительные результаты показывают, что приемлемые потери на сростках и прочность могут быть получены при сращивании волокон с высоким содержанием кремния.

### 1.7.2 Защитные материалы

Необходимо указывать физические и химические свойства материалов, используемых для первичного покрытия, а также наилучший способ снятия этого покрытия (в случае необходимости). Аналогичные указания следует давать и в случае однослойного покрытия волокон.

## 1.8 Профиль показателя преломления

Как правило, нет необходимости знать профиль показателя преломления волокна; в случае необходимости измерения можно пользоваться эталонным методом, который описан в Рекомендации G.651.

## 1.9 Примеры указаний по проектированию волокон

Пример указаний по проектированию волокон для волокон с согласованными (по показателю преломления) оболочками, которыми пользуются две организации, рассматривается в Дополнении № 33.

### 2 Требования к строительной длине

Поскольку геометрические и оптические характеристики волокон (§ 1) практически не изменяются в процессе прокладки кабеля, в § 2 даются рекомендации, которые в основном относятся к характеристикам передачи.

Условия окружающей среды и условия, в которых выполняются измерения, очень важны; их описание приведено в указаниях по методам измерения.

#### 2.1 Коэффициент затухания

Волоконно-оптические кабели, рассматриваемые в настоящей Рекомендации, имеют, как правило, коэффициенты затухания в диапазоне 1300 нм меньше 1,0 дБ/км и в диапазоне 1550 нм — менее 0,5 дБ/км.

*Примечание.* — Достижение наименьших коэффициентов затухания зависит от процесса изготовления, состава волокна и конструкции волокна и кабеля, получены величины порядка 0,3—0,4 дБ/км в диапазоне 1300 нм и порядка 0,15 — 0,25 дБ/км в диапазоне 1550 нм.

#### 2.2 Коэффициент хроматической дисперсии

Максимальная величина коэффициента хроматической дисперсии должна задаваться:

- допустимым диапазоном длин волн с нулевой дисперсией между  $\lambda_{omin} = 1295$  нм и  $\lambda_{omax} = 1322$  нм;
- максимальной величиной  $S_{omax} = 0,095$  пс/(нм<sup>2</sup> · км) крутизны нулевой дисперсии.

Предельные величины коэффициента хроматической дисперсии для любой длины волны  $\lambda$  в диапазоне 1270—1340 нм должны вычисляться следующим образом:

$$D_1(\lambda) = \frac{S_{omax}}{4} \left[ \lambda - \frac{\lambda_{omin}^4}{\lambda^3} \right]$$
$$D_2(\lambda) = \frac{S_{omax}}{4} \left[ \lambda - \frac{\lambda_{omax}^4}{\lambda^3} \right].$$

*Примечание 1.* — Значения  $\lambda_{omin}$ ,  $\lambda_{omax}$  и  $S_{omax}$  дают величины коэффициента хроматической дисперсии  $|D_1|$  и  $|D_2|$ , которые равны или меньше, чем приведенные в таблице максимальные коэффициенты хроматической дисперсии:

Длина волны (нм)	Максимальный коэффициент хроматической дисперсии [пс/(нм · км)]
1285—1330	3,5
1270—1340	6
1550	20

(Исключение имеет место при длине волны 1285 нм, где  $|D_2| = 3,67$  пс/(нм · км). Меньшую величину можно получить уменьшением  $S_{omax}$  или  $\lambda_{omax}$ ; этот вопрос требует дальнейшего изучения.)

*Примечание 2.* — Для диапазона 1550 нм к использованию этих уровней следует подходить весьма осторожно.

**Примечание 3.** — Для систем с большой пропускной способностью (например,  $4 \times 140$  Мбит/с или больше) или с большой протяженностью может понадобиться более узкий диапазон величин  $\lambda_{min}$ ,  $\lambda_{max}$  или — при возможности — должна быть выбрана меньшая величина  $S_{max}$ .

**Примечание 4.** — Часто повторять измерения коэффициента хроматической дисперсии одномодового волокна нет необходимости.

### 3 Элементарные кабельные участки

Как правило, элементарный кабельный участок состоит из нескольких сращенных строительных длин кабеля. Требования, предъявляемые к строительным длинам кабеля, приведены в § 2 настоящей Рекомендации. Параметры передачи элементарного кабельного участка должны учитывать не только рабочие характеристики отдельных длин кабеля, но и наряду с другими факторами и затухания на сростках и в соединителях (если они применяются).

#### 3.1 Затухание

Затухание  $A$  элементарного кабельного участка определяется с помощью следующей формулы:

$$A = \sum_{n=1}^m a_n \cdot L_n + a_s \cdot x + a_c \cdot y,$$

где

$a_n$  — коэффициент затухания  $n$ -го волокна на элементарном кабельном участке,

$L_n$  — длина  $n$ -го волокна,

$m$  — общее количество сочлененных волокон на элементарном кабельном участке,

$a_s$  — среднее затухание на сростках,

$x$  — число сростков на элементарном кабельном участке,

$a_c$  — среднее затухание, обусловленное линейными соединителями,

$y$  — число линейных соединителей на элементарном кабельном участке (если таковые имеются).

Необходимо предусматривать достаточный запас на затухание кабеля с учетом будущих изменений его конфигураций (дополнительные сростки, дополнительные длины кабеля, эффекты старения, температурные колебания и т.п.).

Приведенное выше выражение не включает затухание устройств подключения аппаратуры.

Среднее затухание используется для определения затуханий на сростках и соединителях. Суммарное затухание, которое используется при проектировании реальных систем, должно учитывать статистические изменения этих параметров.

#### 3.2 Хроматическая дисперсия

Хроматическую дисперсию (в пс) можно рассчитывать с помощью коэффициентов общей дисперсии строительных длин, предполагая линейную зависимость от длины и точно учитывая знак коэффициентов и характеристики системы (см. § 2.2).

## ПРИЛОЖЕНИЕ А

(к Рекомендации G.652)

Значения терминов, используемых в настоящей Рекомендации

Термины, приведенные в настоящей Рекомендации, относятся к одномодовым волокнам. Другие термины, которые встречаются в Рекомендации, имеют те же значения, что и приведенные в приложении А к Рекомендации G.651.

#### A.1 диаметр модового поля

Диаметр модового поля  $2w$  находится с помощью одного из следующих определений. Пределы интегрирования указаны от 0 до  $\infty$ , но подразумевается, что интегралы ограничиваются в области возрастания аргумента.

Хотя максимальная физическая величина аргумента  $q$  есть  $\frac{1}{\lambda}$ , подынтегральное выражение быстро приближается к нулю, прежде чем будет достигнута эта величина.

i) ОБЛАСТЬ ДАЛЬНЕГО ПОЛЯ: В этой области возможны три методики измерений:

- a) СКАНИРОВАНИЕ В ДАЛЬНЕМ ПОЛЕ: Измеряется распределение интенсивности излучения в дальнем поле  $F^2(q)$  как функция угла  $\theta$  дальнего поля. Диаметр модового поля (MDF) на волне  $\lambda$  равен:

$$2w = \frac{2}{\pi} \left[ 2 \frac{\int_0^\infty q^3 F^2(q) dq}{\int_0^\infty q F^2(q) dq} \right]^{-1/2}, \quad \text{где } q = \frac{1}{\lambda} \sin \theta \quad (1)$$

- b) СКАНИРОВАНИЕ УЗКОЙ ЩЕЛЬЮ: Щелевая функция передачи мощности  $K(x)$  измеряется как функция бокового смещения щели  $x$ , причем плоскость щели находится на расстоянии  $D$  от волокна. Диаметр модового поля равен:

$$2w = \frac{2}{\pi} \left[ 4 \frac{\int_0^\infty K'(x) q^2 dq}{\int_0^\infty K'(x) dq} \right]^{-1/2}, \quad \text{где } x = D \tan \theta, K'(x) = \frac{dK(x)}{dx} \text{ и } q = \frac{1}{\lambda} \sin \theta \quad (2)$$

- c) МЕТОДИКА ПЕРЕМЕННОЙ АПЕРТУРЫ: Дополняющая функция передачи мощности апертуры  $a(x)$  измеряется как функция радиуса апертуры  $x$ , причем плоскость апертуры находится на расстоянии  $D$  от волокна. Диаметр модового поля равен:

$$2w = \frac{2}{\pi} \left[ 4 \int_0^\infty a(x) q dq \right]^{-1/2}, \quad \text{где } x = D \tan \theta \text{ и } q = \frac{1}{\lambda} \sin \theta \quad (3)$$

- ii) МЕТОД СМЕЩЕНИЯ СТЫКА: Коэффициент передачи мощности  $T(\delta)$  измеряется как функция поперечного смещения  $\delta$  и

$$2w = 2 \left[ -2 \frac{T(0)}{\left[ \frac{d^2 T}{d \delta^2} \right]_{\delta=0}} \right]^{1/2} \quad (4)$$

- iii) ОБЛАСТЬ БЛИЖНЕГО ПОЛЯ: Распределение интенсивности ближнего поля  $f^2(r)$  измеряется как функция радиальной координаты  $r$ :

$$2w = 2 \left[ 2 \frac{\int_0^\infty r f^2(r) dr}{\int_0^\infty r \left[ \frac{df(r)}{dr} \right]^2 dr} \right]^{1/2} \quad (5)$$

*Примечание.* — Математическая эквивалентность этих определений следует из преобразований, которые связывают результаты измерений, полученные различными методами. В краткой форме они представлены на рис. A-1/G.652.

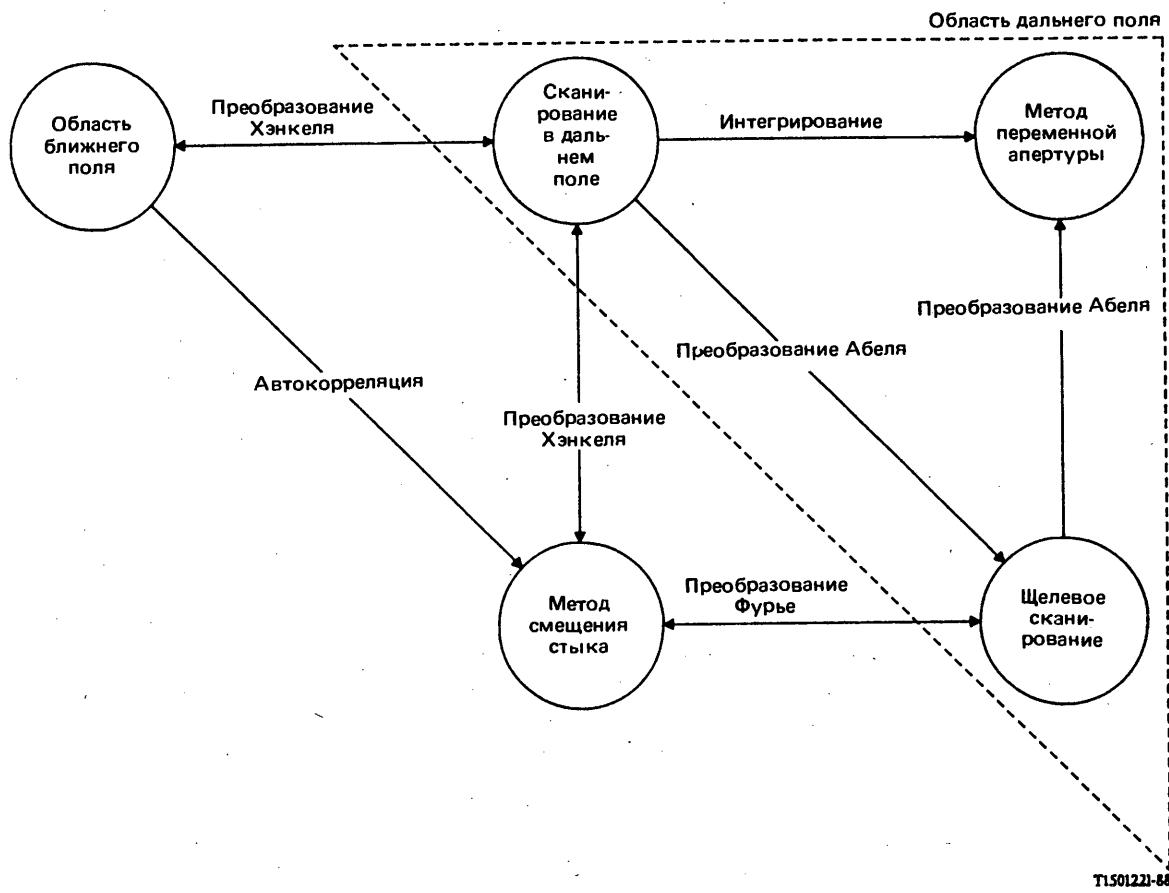


РИСУНОК А-1/G.652

**Математические соотношения между методами измерений**

**A.2 поверхность оболочки**

Внешняя поверхность стекла, в которой заключено оптическое волокно.

**A.3 центр поверхности оболочки**

Для поперечного сечения оптического волокна это центр окружности, которая наилучшим образом соответствует поверхности оболочки в данном поперечном сечении.

*Примечание.* — Должен быть определен метод наилучшего соответствия; этот вопрос в настоящее время изучается.

**A.4 диаметр поверхности оболочки**

Диаметр окружности, определяющей центр оболочки.

*Примечание.* — Для номинального круглого волокна диаметр поверхности оболочки при любой ориентации поперечного сечения есть наибольшее расстояние между точками оболочки.

**A.5 некруглость поверхности оболочки**

Разность между максимальным  $D_{max}$  и минимальным  $D_{min}$  диаметрами поверхности оболочки (по отношению к общему центру поверхности оболочки), деленная на номинальный диаметр  $D$  оболочки, то есть

$$\text{некруглость} = (D_{max} - D_{min})/D.$$

*Примечание.* — Максимальный и минимальный диаметры поверхности оболочки суть, соответственно, наибольшее и наименьшее расстояния между двумя пересечениями линии, которая проходит через центр оболочки, с поверхностью оболочки.

## A.6 модовое поле

Модовое поле есть распределение одномодового поля, которое обуславливает пространственное распределение интенсивности в волокне.

## A.7 центр модового поля

Центр модового поля есть положение центроида пространственного распределения интенсивности в волокне.

*Примечание 1.* — Центроид располагается в точке  $\bar{r}_c$  и представляет собой нормированный взвешенный по интенсивности интеграл вектора  $\vec{r}$ .

$$\bar{r}_c = \iint_{\text{AREA}} \vec{r} I(\vec{r}) dA / \iint_{\text{AREA}} I(\vec{r}) dA$$

*Примечание 2.* — Для волокон, рассматриваемых в настоящей Рекомендации, соответствие между положением центроида, как определено выше, и положением максимума пространственного распределения интенсивности требует дальнейшего изучения.

## A.8 коэффициент концентричности модового поля

Расстояние между центром модового поля и центром поверхности оболочки.

## A.9 некруглость модового поля

Поскольку, как правило, нет необходимости измерять некруглость модового поля при приемке (как утверждается в § 1.4.1), определять некруглость модового поля в данном контексте необязательно.

## A.10 длина волны среза

Длина волны среза есть длина волны, которая превышает ту, для которой отношение между полной мощностью, включая вводимые моды более высокого порядка, и мощностью основной моды уменьшается до величины меньшей, чем установленная при однородном возбуждении мод.

*Примечание 1.* — По определению в качестве установленной величины выбирается 0,1 дБ для практически прямого отрезка волокна длиной 2 м, включающего одну петлю с радиусом 140 мм.

*Примечание 2.* — Длина волны среза, определяемая в настоящей Рекомендации, обычно отличается от теоретической длины волны среза, которую можно вычислить по профилю показателя преломления волокна. Теоретическая длина волны среза представляет собой менее полезный параметр для определения рабочих характеристик волокна на сети электросвязи.

*Примечание 3.* — В § 1.5 описаны два типа длины волны среза:

- i) длина волны среза  $\lambda_c$ , измеренная на коротком отрезке волокна с первичным покрытием, взятого вне кабеля,
- ii) длина волны среза  $\lambda_{cc}$ , измеренная на волокне, входящем в проложенной кабель.

Во избежание модового шума и потерь из-за дисперсии длина волны среза  $\lambda_{cc}$  самого короткого отрезка кабеля (включая запас, необходимый для ремонта, если таковой имеется) должна быть меньше самой малой длины волны  $\lambda_s$ , ожидаемой в рассматриваемой системе:

$$\lambda_{cc} < \lambda_s. \quad (1)$$

Это гарантирует, что каждый отдельный кабельный участок будет в достаточной степени одномодовым. Любой некачественно выполненный сросток будет создавать мощность моды более высокого порядка ( $LP_{11}$ ), но одномодовые волокна, как правило, будут сохранять эту моду только на коротком отрезке (порядка нескольких метров в зависимости от условий прокладки). Поэтому должно быть задано минимальное расстояние между сростками, которое позволило бы получить достаточно большой отрезок волокна для ослабления моды  $LP_{11}$ , прежде чем она достигнет следующего сростка. Если неравенство (1) будет удовлетворяться на самом коротком кабельном участке, то оно тем более будет удовлетворяться на всех более длинных кабельных участках, то есть будет осуществляться одномодовая работа независимо от длины элементарного кабельного участка.

Задание  $\lambda_{cc} < \lambda_s$  для самого короткого кабельного участка (включая петли в муфтах на сростках) обеспечивает одномодовую работу. Однако зачастую оказывается более удобно измерить  $\lambda_c$ , для чего требуется всего лишь двухметровый отрезок волокна. Величина  $\lambda_c$  зависит от типа волокна, его длины и радиуса изгиба, а величина  $\lambda_{cc}$  зависит, помимо перечисленного, от конструкции конкретного кабеля. Таким образом, связь между  $\lambda_c$  и  $\lambda_{cc}$  зависит от конструкций волокна и кабеля. Как правило, величина  $\lambda_c$  на несколько десятков нанометров превышает величину  $\lambda_{cc}$ ;  $\lambda_c$  даже может превышать длину волны системы, не нарушая при этом неравенства (1). Более высокие значения  $\lambda_c$  обеспечивают лучшую фильтрацию моды  $LP_{01}$ , помогая уменьшить возможные потери на изгибы в диапазоне 1550 нм.

Часто к источникам и приемникам подсоединяются короткие отрезки волокна (< 20 м), они используются также в качестве кроссировочных кабелей. Длина волны среза этих волокон также должна быть меньше, чем  $\lambda_s$ . К числу возможных способов избежать модового шума в этом случае относятся:

- a) для подобных применений необходимо выбирать только волокна с достаточно малой  $\lambda_c$ ;
- b) прокладка таких волокон должна производиться с малыми радиусами изгиба.

#### A.11 хроматическая дисперсия

Расширение светового импульса в оптическом волокне в расчете на единицу ширины спектра источника, обусловленное различиями групповых скоростей различных длин волн, которые составляют спектр источника света.

*Примечание.* — Хроматическая дисперсия может быть обусловлена следующими причинами: материальной дисперсией, волноводной дисперсией, профильной дисперсией. Поляризационная дисперсия в кругло-симветрических волокнах заметного влияния не оказывает.

#### A.12 коэффициент хроматической дисперсии

Хроматическая дисперсия в расчете на единицу ширины спектра источника и единицу длины волокна. Обычно выражается в пс/(нм · км).

#### A.13 крутизна нулевой дисперсии

Крутизна характеристики коэффициента хроматической дисперсии в зависимости от длины волны при длине волны с нулевой дисперсией.

#### A.14 длина волны с нулевой дисперсией

Длина волны, при которой хроматическая дисперсия исчезает.

### ПРИЛОЖЕНИЕ В

(к Рекомендации G.652)

#### Методы измерения одномодовых волокон

В настоящем приложении дается описание эталонного (RTM) и альтернативных (ATM) методов измерения для каждого параметра; при этом предполагается, что и RTM, и ATM могут быть использованы при приемочных испытаниях обычных изделий. Однако в случае обнаружения какого-либо несоответствия в результатах при использовании альтернативных методов (ATM) для получения окончательных результатов рекомендуется применять эталонный метод (RTM).

#### B.1 — Раздел I — Методы измерения диаметра модового поля одномодовых волокон

##### B.1.1 Эталонный метод измерения диаметра модового поля одномодовых волокон

###### B.1.1.1 Цель

Диаметр модового поля может быть определен в области дальнего поля по распределению интенсивности излучения в дальнем поле  $F^2(q)$ , по щелевой функции передачи  $K(x)$  или по дополняющей функции передачи мощности апертуры  $a(x)$  методом смещения стыка по квадрату функции автокорреляции  $T(\delta)$ ; в области ближнего поля — по распределению интенсивности ближнего поля  $f^2(r)$  и в соответствии с эквивалентными определениями, которые приведены в § A.1 приложения А к Рекомендации G.652.

## B.1.1.2 Измерительное устройство

### B.1.1.2.1 Общие положения

Для измерений в ближнем поле требуется, чтобы оптическая аппаратура увеличения обеспечивала изображение выходного торца волокна в плоскости детектора. Для измерений со смещением стыка требуется возможность перемещения торца одного волокна относительно торца другого. Для трех измерений дальнего поля требуются соответствующие сканирующие устройства.

### B.1.1.2.2 Источник света

Положение, интенсивность и длина волны источника света должны оставаться стабильными в течение промежутка времени, достаточного для выполнения измерения. Спектральные характеристики источника должны выбираться таким образом, чтобы не допустить многомодового режима.

### B.1.1.2.3 Модуляция

Как правило, для улучшения отношения сигнал/шум в приемнике источник света модулируется. При использовании такого метода детектор должен быть связан с системой обработки сигнала, синхронизированной по отношению к частоте модуляции источника. Система детектирования должна быть практически линейной.

### B.1.1.2.4 Условия ввода света

Применяемые условия ввода света должны обеспечивать возбуждение основной моды ( $LP_{01}$ ). В качестве примера можно назвать следующие способы ввода света:

- a) соединения с волокном,
- b) ввод света с использованием соответствующей оптической системы.

Необходимо следить за тем, чтобы моды высших порядков не распространялись. Для этой цели может оказаться необходимым добавить петли соответствующего радиуса с каждой стороны соединителя для подавления мод более высоких порядков.

### B.1.1.2.5 Съемники мод оболочки

Необходимо предусматривать меры, препятствующие распространению и детектированию мод оболочки.

### B.1.1.2.6 Образец

Образец должен представлять собой короткий отрезок испытываемого оптического волокна. В части волокна, которая вводится в съемник мод, необходимо удалить первичное покрытие. Торцы волокна должны быть чистыми, ровными и перпендикулярными к оси волокна. Рекомендуется, чтобы торцы были плоскими и перпендикулярными к оси волокна, отклонение от перпендикуляра не должно превышать  $1^\circ$ . При использовании метода со смещением стыка волокно следует разрезать на два отрезка, примерно равные по длине.

### B.1.1.2.7 Устройство смещения или сканирования

Характерно, что распределения интенсивности ближнего поля будут более узкими, а распределения интенсивности дальнего поля более широкими для волокон, рассматриваемых в Рекомендации G.653, чем для волокон, рассматриваемых в Рекомендации G.652. Поэтому необходимо принимать дополнительные меры, как описано ниже.

Следует использовать один из следующих методов:

#### I Область дальнего поля

- a) Система сканирования в дальнем поле

Следует использовать устройство, предназначенное для сканирования распределения интенсивности дальнего поля (например, сканирующий фотодетектор с точечной апертурой или сканирующий фотодетектор с гибким выводом). Сканирование может быть угловым или линейным. Детектор должен располагаться на расстоянии не менее 20 мм от конца волокна, а его активная площадь не должна сильно стягивать угол в дальнем поле. Это обеспечивается благодаря размещению детектора на расстоянии, превышающем  $20 \text{ wb}/\lambda$ , от конца волокна, где  $2w$  — это ожидаемый диаметр модового поля испытываемого волокна,  $b$  — это диаметр активной площади детектора. Половина угла сканирования должна составлять  $25^\circ$  или больше. В противном случае сканирование должно быть расширено, по крайней мере, до  $-50$  дБ интенсивности нулевого угла.

### b) Щелевая установка

Механизм для линейного сканирования щели в ортогональном направлении по отношению к оси волокна и к обрезу щели. Свет, передаваемый щелью, собирается и фокусируется на детекторе. Собирающая оптика должна иметь числовую апертуру 0,4 или больше.

### c) Апертурная установка

Необходимо использовать устройство, содержащее не менее 12 апертур, перекрывающих диапазон полууглов числовых апертур от 0,02 до 0,4. Свет, передаваемый апертурой, собирается и фокусируется на детекторе.

## II Метод смещения стыка

### Соединитель со смещением

Соединитель конструируется таким образом, чтобы относительное смещение осей волокон можно было регулировать. Рекомендуется использовать устройство для измерения смещения в пределах 0,1 мкм. Оптическая мощность, передаваемая через соединитель со смещением, измеряется детектором. Особое внимание следует обращать на правильность и точность показаний устройства смещения.

## III Область ближнего поля

### Оптика для формирования изображений ближнего поля

Для увеличения и фокусирования изображения ближнего поля волокна на плоскости сканирующего детектора (например, сканирующего фотодетектора с точечной апертурой или фотодетектора с гибким выводом) должна применяться увеличивающая оптика (например, объектив микроскопа). Числовая апертура и увеличение должны выбираться таким образом, чтобы они были совместимы с требуемой пространственной разрешающей способностью. Для целей калибровки увеличение оптической системы должно измеряться путем сканирования длины образца, значения которого известны с достаточной точностью.

*Примечание.* — Числовая апертура собирающей оптики в I b) и I c) должна быть достаточно большой, чтобы не влиять на результаты измерений.

### B.1.1.2.8 Детектор

Должен использоваться подходящий детектор. Этот детектор должен иметь линейные характеристики.

### B.1.1.2.9 Усилитель

Для повышения уровня сигнала должен применяться усилитель.

### B.1.1.2.10 Запись данных

Измеренный уровень сигнала должен быть записан и обработан в соответствии с используемым методом.

### B.1.1.2.11 Процедура выполнения измерений

Конец волокна, в который должен быть введен свет, должен быть соотнесен со световым лучом, а выходной конец — с соответствующим выходным устройством.

Необходимо придерживаться одной из следующих процедур.

#### I Область дальнего поля

- a) Перемещая детектор фиксированными шагами, измеряют распределение интенсивности дальнего поля  $F^2(q)$ , а диаметр модового поля вычисляется по уравнению (1) приложения A, § A.1.
- b) Мощность, передаваемая щелью, измеряется как функция положения щели. Эта функция  $K(x)$  подвергается дифференцированию, а диаметр модового поля определяется по уравнению (2) приложения A, § A.1.
- c) Измеряется мощность  $P(x)$ , передаваемая каждой апертурой, а дополняющая функция передачи апертуры  $a(x)$  находится как

$$a(x) = 1 - \frac{P(x)}{P_{max}},$$

где  $P_{max}$  — мощность, передаваемая самой большой апертурой, а  $x$  — радиус апертуры. Диаметр модового поля вычисляется по уравнению (3) приложения A, § A.1.

## II Метод смещения стыка

В процессе поперечного щелевого смещения стыка измеряется коэффициент передачи мощности  $T(\delta)$ , а диаметр модового поля вычисляется по уравнению (4) приложения А, § A.1.

## III Область ближнего поля

Ближнее поле волокна увеличивается с помощью увеличивающей оптики и фокусируется на плоскости детектора. Фокусирование должно выполняться с максимальной точностью для уменьшения ошибок в определении размеров, обусловленных сканированием расфокусированного изображения. Производится сканирование распределения интенсивности ближнего поля  $I^2(r)$ , а диаметр модового поля вычисляется по уравнению (5) приложения А, § A.1. В другом варианте распределение интенсивности ближнего поля  $I^2(r)$  может быть преобразовано в область дальнего поля с помощью преобразования Хэнкеля; полученное преобразованное дальнее поле  $F^2(q)$  можно использовать для вычисления диаметра модового поля по уравнению (1) приложения А, § A.1.

### B.1.1.2.12 Представление результатов

Должны быть указаны следующие данные:

- a) Применяемая измерительная техника, в том числе схема измерительного устройства, динамический диапазон измерительной системы, алгоритмы обработки и описание применяемых устройств получения изображения, смещения или сканирования.
- b) При использовании метода смещения стыка указывается метод подгонки (в том числе угол сканирования или числовая апертура, в случае применения).
- c) Условия ввода света.
- d) Длина волны и ППМШ спектра источника.
- e) Характеристика волокна и его длина.
- f) Тип съемника мод оболочки и фильтра (в случае применения).
- g) Аппаратура увеличения (в случае применения).
- h) Тип и размеры детектора.
- i) Температура образца и условия окружающей среды (в случае необходимости).
- j) Указание точности и воспроизводимости измерений.
- k) Диаметр модового поля.

*Примечание.* — Как и в случае других методов измерения, указанные выше аппаратура и процедура охватывают только наиболее важные характеристики эталонного метода измерений. Предполагается, что подробное описание контрольно-измерительной аппаратуры будет включать все необходимые меры для обеспечения стабильности, шумоподавления, отношения сигнал/шум и т.п.

## B.2 — Раздел II — Методы измерения геометрических характеристик, за исключением диаметра модового поля

### B.2.1 Эталонный метод измерения: метод измерения ближнего поля передачи

#### B.2.1.1 Общие положения

Метод измерения ближнего поля передачи должен применяться для измерения геометрических характеристик одномодовых оптических волокон. Такие измерения выполняются способом, который совместим с соответствующими определениями.

В основу измерения положено сканирование увеличенного (ых) изображения (ий) на выходном конце измеряемого волокна в поперечном (ых) сечении (ях), где размещается детектор.

#### B.2.1.2 Измерительное устройство

Блок-схема измерительного устройства приведена на рис. B-1/G.652.

#### B.2.1.2.1 Источник света

Для освещения сердцевины должен применяться источник света с номинальной длиной волны 1550 нм. Источник света должен допускать регулирование интенсивности излучения; его положение, интенсивность и длина волны должны оставаться стабильными в течение промежутка времени, достаточного для выполнения измерений. Спектральные характеристики этого источника должны выбираться таким образом, чтобы исключить многомодовый режим. В случае необходимости для освещения оболочки может быть использован второй источник света с аналогичными характеристиками. Спектральные характеристики этого второго источника света не должны вызывать расфокусировку изображения.

### **B.2.1.2.2 Условия ввода света**

Оптическая аппаратура для ввода света, которая будет применяться для "переполнения" волокна, должна фокусировать световой луч на плоском выходном конце волокна.

### **B.2.1.2.3 Фильтр мод**

При измерении некоторых параметров необходимо обеспечить одномодовый режим на длине волны измерения. В подобных случаях может возникнуть необходимость внесения изгиба для подавления моды  $LP_{11}$ .

### **B.2.1.2.4 Съемник мод оболочки**

Соответствующий съемник мод оболочки должен использоваться для прекращения распространения в оболочке оптической мощности. Когда измеряются геометрические характеристики только оболочки, съемник мод оболочки должен отсутствовать.

### **B.2.1.2.5 Образец**

Образец должен представлять собой короткий отрезок испытываемого оптического волокна. Торцы волокна должны быть чистыми, ровными и перпендикулярными к оси волокна.

### **B.2.1.2.6 Увеличивающая оптика**

Увеличивающая оптика должна состоять из оптической системы (например, объектива микроскопа), которая увеличивает выходное излучение в ближнем поле образца, фокусируя его в плоскости сканирующего детектора. Числовая апертура и, следовательно, разрешающая способность оптики должны быть согласованы с требуемой точностью измерения и должны составлять не меньше 0,3. Выбор увеличения должен обеспечивать согласованность с требуемой пространственной разрешающей способностью и регистрироваться.

В аппаратуре увеличения для повышения точности измерений могут применяться методы среза (смещения) изображения.

*Примечание.* — Пригодность метода среза (смещения) изображения в настоящее время изучается; она требует подтверждения.

### **B.2.1.2.7 Детектор**

Следует применять детектор, который обеспечивает интенсивность диаграммы ближнего поля от точки к точке. Можно, например, использовать любой из следующих способов:

- a) сканирующий фотодетектор с точечной апертурой;
- b) сканирующее зеркало с фиксированной точечной апертурой и фотодетектором;
- c) сканирующий видикон, устройства с зарядовой связью или другие устройства распознавания диаграмм интенсивности.

Детектор должен иметь линейную (или приведенную к линейной) характеристику во всем диапазоне значений интенсивности.

### **B.2.1.2.8 Усилитель**

Для повышения уровня сигнала необходимо использовать усилитель. Ширина полосы частот усилителя выбирается в зависимости от применяемого типа сканирования. При сканировании торца волокна с помощью оптических или механических систем световой источник обычно модулируется. При использовании этого метода усилитель согласуется с частотой модуляции сигнала.

### **B.2.1.2.9 Запись данных**

Распределение измеряемой интенсивности может быть записано, обработано и представлено в соответствующем виде с учетом способа сканирования и технических требований.

### **B.2.1.3 Процедура**

#### **B.2.1.3.1 Калибровка устройства**

Для калибровки устройства необходимо измерить увеличение оптической системы посредством сканирования изображения образца, размеры которого уже известны с требуемой точностью. Это увеличение должно быть зарегистрировано.

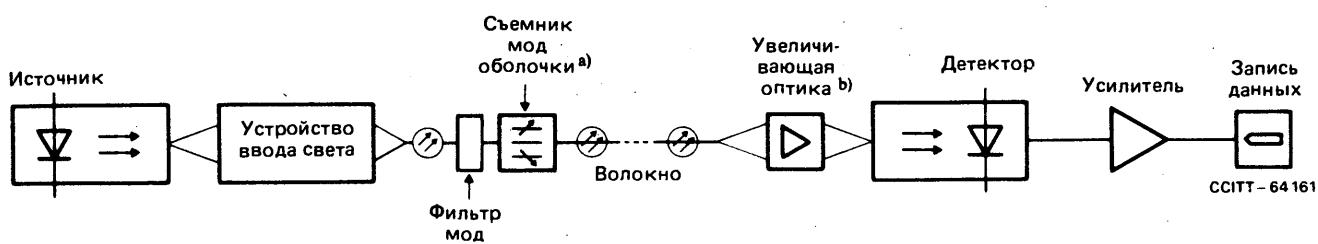
### B.2.1.3.2 Измерение

Торец волокна, в который должен быть введен свет, необходимо сцентрировать по световому лучу, а выходной торец — по оптической оси увеличивающей оптики. Для измерения ближнего поля сфокусированное изображение (я) выходного торца волокна должно сканироваться детектором в соответствии с техническими требованиями. Чтобы погрешности в размерах, обусловленные плохой фокусировкой изображения, были сведены к минимуму, фокусировка должна выполняться с максимальной точностью. После этого можно в соответствии с определениями вычислить требуемые геометрические параметры.

### B.2.1.4 Представление результатов

Должны быть указаны следующие данные:

- a) Схема измерительного устройства с указанием применяемого способа сканирования.
- b) Условия ввода света.
- c) Спектральные характеристики источника (ов).
- d) Определение волокна и его длина.
- e) Тип фильтра мод (в случае применения).
- f) Увеличение увеличивающей оптики.
- g) Тип и размеры сканирующего детектора.
- h) Температура образца и условия окружающей среды (в случае необходимости).
- i) Указание точности и воспроизводимости измерений.
- j) Результатирующие параметры, такие как диаметры оболочки, некруглости оболочки, погрешность концентричности модового поля и т.п.



a) В случае необходимости.

b) В том числе оптическая система среза (смещения) изображения в случае необходимости.

РИСУНОК B-1/G.652

Типовая схема устройства для измерения передаваемого ближнего поля

### B.2.2 Альтернативный метод измерения: метод преломления в ближнем поле

Этот метод описан в Рекомендации G.651. Уровни принятия решений по различным стыкам разности показателей преломления определяются следующим образом:

Сердцевина/оболочка	50%
Оболочка/согласующая жидкость показателя	50%

Анализ геометрии, соответствующей терминам приложения А к Рекомендации G.652, может быть выполнен с помощью растрового сканирования входного светового пятна.

### B.2.3 Альтернативный метод измерения: метод боковой проекции

Пригодность метода боковой проекции для волокон, рассматриваемых в Рекомендации G.653, требует подтверждения.

#### B.2.3.1 Цель

Метод боковой проекции применяется для одномодовых волокон с целью определения геометрических параметров (погрешность концентричности модового поля, диаметр оболочки и некруглость оболочки) посредством измерения распределения интенсивности света, который преломляется внутри волокна.

### B.2.3.2 Измерительное устройство

Блок-схема измерительного устройства представлена на рис. В-2/G.652.

#### B.2.3.2.1 Источник света

Излучаемый свет должен быть сведен в параллельный пучок с регулируемой интенсивностью; его положение, интенсивность и длина волны должны оставаться стабильными в течение промежутка времени, достаточного для выполнения измерения. Может быть использован такой источник света, имеющий стабильное излучение с высокой интенсивностью, как светодиод.

#### B.2.3.2.2 Образец

Образец волокна должен представлять собой короткий отрезок измеряемого одномодового волокна. С части волокна, подлежащей наблюдению, необходимо удалить первичное покрытие. Во время измерения поверхность волокна должна быть чистой.

#### B.2.3.2.3 Увеличивающая оптика

Увеличивающая оптика должна включать в себя оптическую систему (например, объектив микроскопа), которая увеличивает распределение интенсивности света, отраженного внутри волокна, в плоскости сканирующего детектора. Плоскость наблюдения должна располагаться на фиксированном расстоянии от оси волокна. Выбор увеличения должен согласовываться с требуемой пространственной разрешающей способностью и регистрироваться.

#### B.2.3.2.4 Детектор

Необходимо применять такой детектор, который обеспечивает определение увеличенного распределения интенсивности в плоскости наблюдения вдоль линии, перпендикулярной к оси волокна. Можно использовать видиконное устройство с зарядовой связью. Детектор должен иметь линейные характеристики в требуемом диапазоне измерений. Разрешающая способность детектора должна согласовываться с требуемым пространственным разрешением.

#### B.2.3.2.5 Обработка данных

Для анализа распределений интенсивности следует применять компьютер с соответствующим программным обеспечением.

### B.2.3.3 Процедура

#### B.2.3.3.1 Калибровка аппаратуры

Для калибровки аппаратуры увеличение оптической системы должно измеряться посредством сканирования отрезка волокна, размеры которого уже точно известны. Данные об увеличении необходимо регистрировать.

#### B.2.3.3.2 Измерение

Измеряемое волокно закрепляется в держателе образца и помещается в измерительную систему таким образом, чтобы его ось была перпендикулярна оптической оси измерительной системы.

Распределения интенсивности в плоскости наблюдения вдоль линии, перпендикулярной к оси волокна ( (a) – (a) в [A] на рис. В-2/G.652), регистрируются (показано значком [B]) для разных направлений наблюдения посредством вращения волокна вокруг своей оси при сохранении постоянного расстояния между осью волокна и плоскостью наблюдения. Диаметр оболочки и среднее положение волокна определяются путем анализа симметрии системы дифференциальных полос (показано значком [B]). Среднее положение сердцевины определяется с помощью анализа распределения интенсивности сходящегося пучка световых лучей (показано значком [C]). Расстояние между средним положением сердцевины соответствует номинальной величине погрешности концентричности модового поля (MFCE).

Как показано на рис. В-3/G.652, совмещая синусоиду с экспериментально полученными величинами погрешности концентричности модового поля в зависимости от угла вращения, можно вычислить фактическую величину погрешности концентричности модового поля, как произведение максимальной амплитуды синусоиды и коэффициента увеличения с учетом эффекта моды, который обусловлен цилиндрической структурой волокна. Диаметр оболочки определяется как усредненная величина измеренных диаметров волокна при каждом угле вращения, в результате чего получаются величины максимального и минимального диаметров для определения величины некруглости оболочки (по определению).

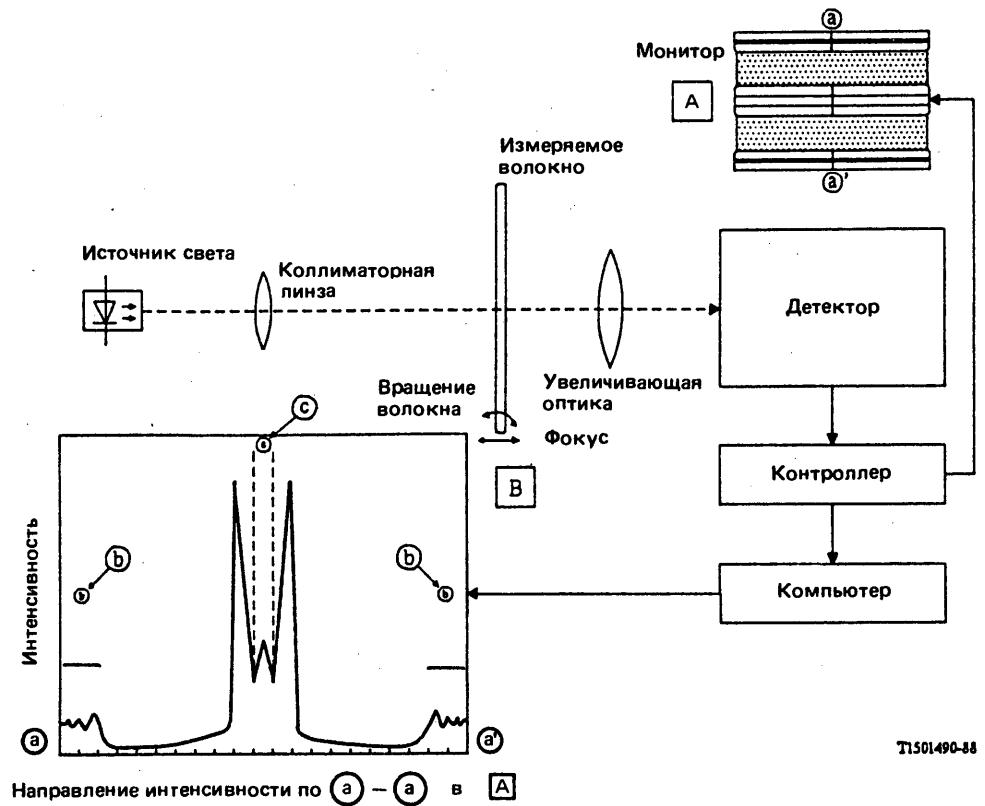


РИСУНОК В-2/G.652

Блок-схема измерительной системы

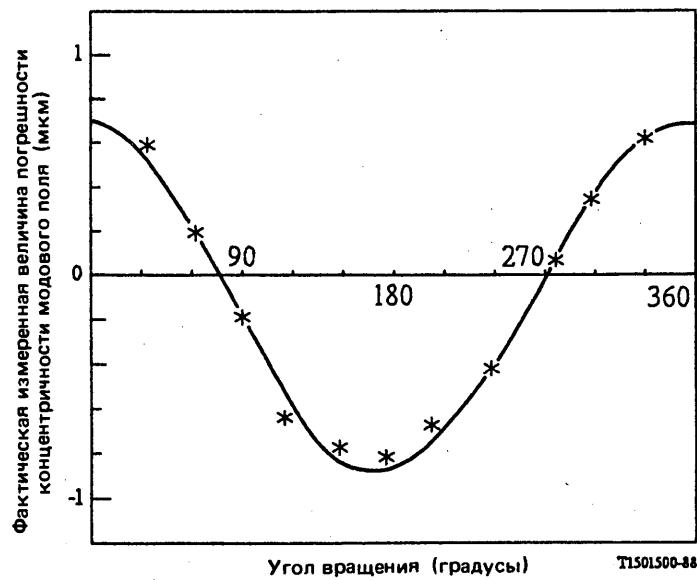


РИСУНОК В-3/G.652

Измеренная величина погрешности концентричности модового поля  
в зависимости от угла вращения

### B.2.3.3.3 Представление результатов

Должны быть указаны следующие данные:

- a) измерительная схема;
- b) характеристика волокна;
- c) спектральные характеристики источника;
- d) указание точности и воспроизводимости измерений;
- e) кривая зависимости номинальной величины погрешности концентричности модового поля от угла поворота;
- f) погрешность концентричности модового поля, диаметр оболочки и некруглость оболочки;
- g) температура образца и условия окружающей среды (в случае необходимости).

## B.2.4 Альтернативный метод: метод передаваемого изображения ближнего поля

### B.2.4.1 Общие положения

Метод передаваемого изображения ближнего поля должен применяться для измерения геометрических характеристик одномодовых оптических волокон. Такие измерения выполняются способом, который совместим с соответствующими определениями.

В основу измерения положен анализ увеличенного (ых) изображения (й) выходного конца измеряемого волокна.

### B.2.4.2 Измерительное устройство

Блок-схема измерительного устройства представлена на рис. В-4/G.652.

#### B.2.4.2.1 Источник света

Используется источник света с регулируемой интенсивностью излучения; его положение, интенсивность и длина волны должны оставаться стабильными в течение промежутка времени, достаточного для выполнения измерений. В случае необходимости для освещения оболочки может быть использован второй источник света. Спектральные характеристики второго источника света не должны нарушать фокусировку изображения.

#### B.2.4.2.2 Условия ввода света

Оптическая аппаратура для ввода света, которая будет применяться для "переполнения" волокна, должна фокусировать световой луч на плоском входном конце волокна.

#### B.2.4.2.3 Съемник мод оболочки

Соответствующий съемник мод оболочки должен использоваться для прекращения распространения в оболочке оптической мощности. Когда измеряются геометрические характеристики только оболочки, съемник мод оболочки должен отсутствовать.

#### B.2.4.2.4 Образец

Образец должен представлять собой короткий отрезок измеряемого волокна. Торцы волокна должны быть чистыми, ровными и перпендикулярными оси волокна.

#### B.2.4.2.5 Увеличивающая оптика

Увеличивающая оптика должна включать в себя оптическую систему (например, объектив микроскопа), которая увеличивает выходное излучение в ближнем поле образца. Числовая апертура и, следовательно, разрешающая способность оптической аппаратуры должны быть согласованы с требуемой точностью измерения и должны быть не меньше 0,3. Выбор увеличения должен обеспечивать согласованность с требуемой пространственной разрешающей способностью и должен регистрироваться.

Метод среза (смещения) изображения может быть использован в оптической аппаратуре увеличения для повышения точности измерений.

#### B.2.4.2.6 Детектирование

Изображение волокна может исследоваться и/или анализироваться. Например, можно пользоваться одним из следующих методов:

- a) срез (смещение) изображения<sup>1)</sup>;
- b) анализ полутонов изображения, записанного с помощью электронного устройства.

#### B.2.4.2.7 Запись данных

Данные могут быть записаны, обработаны и представлены в соответствующей форме с учетом рассматриваемого метода и технических требований.

#### B.2.4.3 Процедура

##### B.2.4.3.1 Калибровка устройства

Для калибровки устройства необходимо измерить увеличение оптической системы посредством сканирования изображения отрезка волокна, характеристики которого уже известны с достаточной точностью. Это увеличение должно быть зарегистрировано.

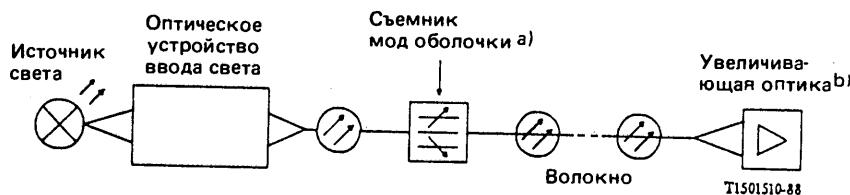
##### B.2.4.3.2 Измерение

Торец волокна, в который вводится свет, должен быть соотнесен со световым лучом, а выходной торец — с оптической осью оптической аппаратуры увеличения. Для измерения, выполняемого по методу передаваемого ближнего поля, сфокусированное (ые) изображение (я) выходного торца волокна должно быть исследовано в соответствии с техническими требованиями. Погрешности расфокусировки должны быть сведены к минимуму для уменьшения ошибки в определении размеров при измерении. После этого производится вычисление требуемых геометрических параметров.

#### B.2.4.4 Представление результатов

Должны быть указаны следующие данные:

- a) схема измерительного устройства с указанием применяемого способа сканирования;
- b) условия ввода света;
- c) спектральные характеристики источника;
- d) определение волокна и его длина;
- e) увеличение увеличивающей оптики;
- f) температура образца и условия окружающей среды (в случае необходимости);
- g) указание точности и воспроизводимости измерений;
- h) результирующие параметры, такие как диаметры оболочки, некруглости оболочки, погрешность концентричности модового поля и т.п.



- a) В случае необходимости.
- b) В том числе оптическая система среза (смещения) изображения в случае необходимости.

РИСУНОК B-4/G.652

<sup>1)</sup> Возможность использования метода среза (смещения) изображения в настоящее время изучается и требует подтверждения.

## B.3 – Раздел III – Методы измерения длины волны среза

### B.3.1 Эталонный метод измерения длины волны среза ( $\lambda_c$ ) волокна с первичным покрытием: метод передаваемой мощности

#### B.3.1.1 Цель

Измерение длины волны среза имеет целью подтверждение возможности эффективной одномодовой работы при длинах волны больше установленной.

#### B.3.1.2 Метод передаваемой мощности

Рассматриваемый метод использует измерение передаваемой мощности в зависимости от длины волны на коротком отрезке испытываемого волокна в заданных условиях по отношению к эталонной передаваемой мощности. Этую эталонную мощность можно получить двумя способами:

- a) в испытываемом волокне образуется петля меньшего радиуса или
- b) берется короткий отрезок (1–2 м) многомодового волокна.

#### B.3.1.2.1 Измерительное устройство

##### B.3.1.2.1.1 Источник света

Используется источник света с шириной спектра (ППМШ) не более 10 нм; его положение, интенсивность и длина волны должны оставаться стабильными в течение промежутка времени, достаточного для выполнения измерения. Источник света должен работать в достаточно широком диапазоне значений длины волны.

##### B.3.1.2.1.2 Модуляция

Как правило, для улучшения отношения сигнал/шум в приемнике источник света модулируется. При использовании такого метода детектор должен быть связан с системой обработки сигнала, синхронизированной по отношению к частоте модуляции источника света. Система детектирования должна быть практически линейной.

##### B.3.1.2.1.3 Условия ввода света

Применяемые условия ввода света должны обеспечивать возбуждение обеих мод  $LP_{01}$  и  $LP_{11}$ . В качестве примера можно назвать следующие способы ввода света:

- a) соединение с многомодовым волокном или
- b) ввод света с использованием соответствующей оптической системы (с большой числовой апертурой).

##### B.3.1.2.1.4 Съемник мод оболочки

Съемник мод оболочки представляет собой устройство, которое позволяет выполнять преобразование мод оболочки в моды излучения; в результате моды оболочки снимаются с волокна. Необходимо предусматривать меры, предупреждающие какое-либо воздействие на распространение моды  $LP_{11}$ .

##### B.3.1.2.1.5 Оптический детектор

Для улавливания всех излучений выходного конуса используется соответствующий детектор. Спектральная характеристика должна быть совместима со спектральной характеристикой источника света. Детектирование должно быть равномерным по спектру и иметь линейные характеристики.

#### B.3.1.2.2 Процедура

##### B.3.1.2.2.1 Стандартный испытательный образец

Измерение должно выполняться на отрезке волокна длиной 2 м. Волокно вводится в измерительное устройство и изгибается таким образом, чтобы образовалась слабо натянутая петля. Эта петля должна составлять один полный виток радиусом 140 мм. Оставшаяся часть волокна должна быть полностью свободной от внешних нагрузок. Хотя допустимы некоторые случайные изгибы с большими радиусами, они не должныносить серьезных изменений в результат измерения. Следует зарегистрировать зависимость выходной мощности  $P_1(\lambda)$  от  $\lambda$  в достаточно широком диапазоне вокруг ожидаемой длины волны среза.

*Примечание.* — Наличие первичного покрытия на волокне, как правило, не оказывает влияния на длину волны среза. Однако наличие вторичного покрытия может привести к тому, что длина волны среза может оказаться значительно короче, чем длина волны волокна с первичным покрытием.

### B.3.1.2.2.2 Передача по эталонному образцу

Можно использовать один из двух следующих способов:

- Используя испытательный образец и поддерживая постоянные условия ввода света, измеряют выходную мощность  $P_2(\lambda)$  в одном и том же диапазоне длин волн; при этом испытываемый образец имеет не менее одной петли с радиусом, достаточным для фильтрации моды  $LP_{11}$ . Типовая величина радиуса этой петли составляет 30 мм.
- Используя короткий отрезок (длиной 1—2 м) многомодового волокна, измеряют выходную мощность  $P_3(\lambda)$  в одном и том же диапазоне значений длин волн.

*Примечание.* — Наличие волн утечки может привести к волнистости спектра передачи многомодового эталонного волокна и оказать влияние на результат. Для снижения этого эффекта условия ввода света могут быть ограничены так, чтобы заполнять только 70% диаметра сердцевины многомодового волокна и числовой апертуры, либо можно использовать соответствующий фильтр мод.

### B.3.1.2.2.3 Вычисление

Логарифмическое соотношение между передаваемыми мощностями  $P_1(\lambda)$  и  $P_i(\lambda)$  вычисляется следующим образом:

$$R(\lambda) = 10 \log [P_1(\lambda)/P_i(\lambda)],$$

где

$i = 2$  или  $3$  для способов а) и б), соответственно.

*Примечание.* — В случае применения метода а) фильтр мод (небольшая петля волокна) исключает все моды, кроме основной, при длинах волн, меньших, чем длина волны среза  $\lambda_c$ , уже на несколько десятков нанометров. При длинах волн, превышающих величину  $\lambda_c$  более, чем на несколько сотен нанометров, такая петля может внести сильное затухание даже для основной моды.  $R(\lambda)$  равно логарифму отношения суммарной мощности, которую излучает образец, включая мощность моды  $LP_{11}$ , к мощности основной моды. При равномерном возбуждении мод в соответствии с пунктом B.1.2.1.3  $R(\lambda)$  дает также затухание моды  $LP_{11}$ ,  $A(\lambda)$ , выраженное в дБ, в испытываемом образце:

$$A(\lambda) = 10 \log [(P_1(\lambda)/P_2(\lambda) - 1)/2].$$

### B.3.1.2.2.4 Определение длины волны среза

Если используется способ а), то длина волны среза  $\lambda_c$  определяется как наибольшая длина волны, при которой  $R(\lambda) = 0,1$  дБ (см. рис. B-5/G.652).

Если используется способ б), то длина волны среза  $\lambda_c$  определяется пересечением кривой  $R(\lambda)$  с прямой (2), которая на 0,1 дБ смещена и параллельна прямой (1), соответствующей участку больших длин волн на кривой  $R(\lambda)$  (см. рис. B-6/G.652).

*Примечание.* — В соответствии с определением затухание моды  $LP_{11}$  в испытываемом образце составляет 19,3 дБ на длине волны среза.

### B.3.2.1.2.2.5 Представление результатов

- схема измерительного устройства;
- условия ввода света;
- тип эталонного образца;
- температура образца и условия окружающей среды (в случае необходимости);
- определение волокна;
- измерительный диапазон длин волн;
- длина волны среза;
- кривая  $R(\lambda)$  (в случае необходимости).

## B.3.2 Альтернативный метод измерения $\lambda_c$ : метод раздвижной катушки

### B.3.2.1 Цель по B.3.2.2.1.5 Оптический детектор (как в B.3.1.1 по B.3.1.2.1.5)

### B.3.2.2.2 Процедура

#### B.3.2.2.2.1 Стандартный испытательный образец

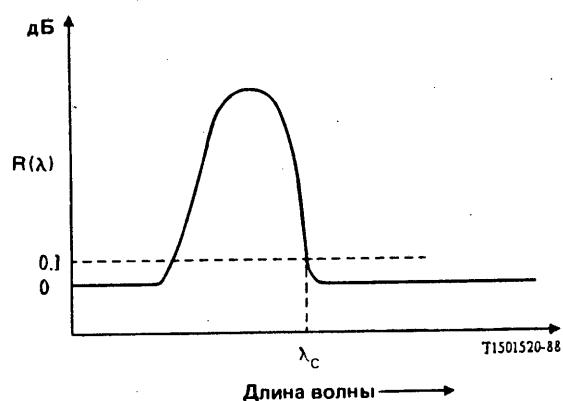


РИСУНОК В-5/G.652

Типичная кривая длины волны среза с использованием одномодового эталона

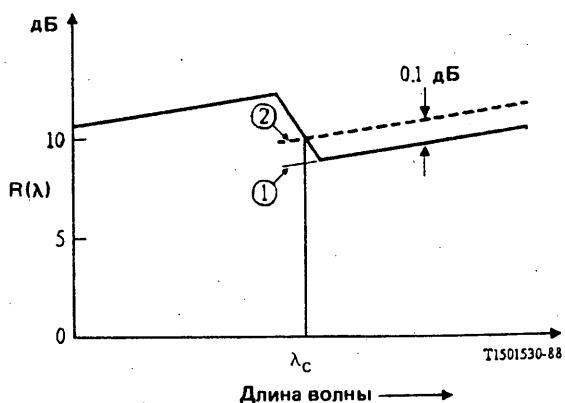


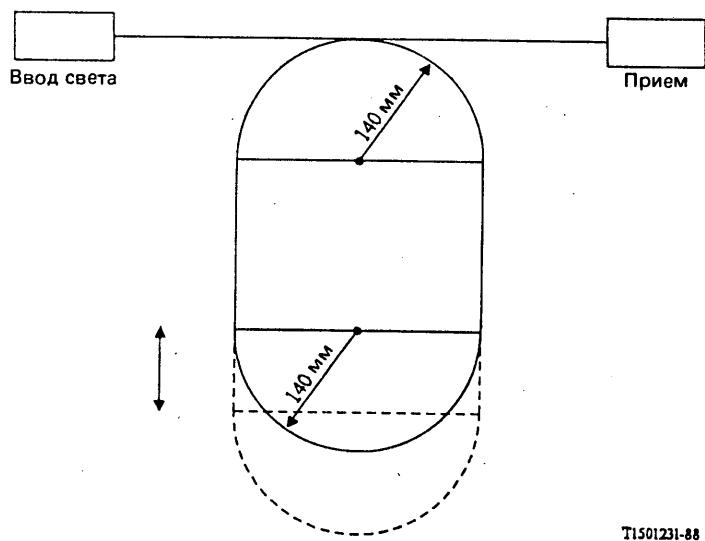
РИСУНОК В-6/G.652

Типичная кривая длины волны среза с использованием многомодового эталона

Измерение должно выполняться на отрезке волокна длиной 2 м. Волокно вводится в измерительное устройство и изгибается таким образом, чтобы образовалась слабо натянутая петля. Эта петля должна составлять один полный виток ( $360^\circ$ ), состоящий из двух дуг (по  $180^\circ$ ) радиусом 140 мм, которые соединены друг с другом касательными. Оставшаяся часть волокна должна быть полностью свободной от внешних нагрузок. Хотя допустимы некоторые случайные изгибы с большими радиусами, они не должны вносить серьезных изменений в результат измерения. Следует зарегистрировать зависимость выходной мощности  $P_1(\lambda)$  от  $\lambda$  в достаточно широком диапазоне вокруг ожидаемой длины волны среза.

Как показано на рис. В-7/G.652, нижняя полуокружность катушки движется с некоторым запасом волокна, не вовлекая в движение оптическую аппаратуру ввода или приема света и не вызывая в волокне никакого существенного напряжения.

B.3.2.2.2 по B.3.2.2.5 (как в B.3.1.2.2 по B.3.1.2.5)



T1501231-88

РИСУНОК В-7/G.652

**Укладка волокна: определение длины волны среза методом раздвижной катушки**

### B.3.3 Эталонный метод измерения длины волны среза ( $\lambda_{cc}$ ) волокна в кабеле: метод передаваемой мощности

#### B.3.3.1 Цель

Данное измерение длины волны среза, которое выполняется на волокнах, входящих в состав кабеля, в условиях прокладки, имитирующих минимальные отрезки кабельной линии, имеет своей целью подтверждение возможности эффективной одномодовой передачи при длинах волны больше установленной.

#### B.3.3.2 Метод передаваемой мощности

Рассматриваемый метод использует измерение передаваемой мощности в зависимости от длины волны на коротком отрезке испытываемого волокна в заданных условиях по отношению к эталонной передаваемой мощности. Этую эталонную мощность можно получить двумя способами:

- a) в испытываемом волокне образуется петля меньшего радиуса;
- b) берется короткий отрезок (1–2 м) многомодового волокна.

##### B.3.3.2.1 Измерительное устройство

###### B.3.3.2.1.1 Источник света (как в B.3.1.2.1.1)

###### B.3.3.2.1.2 Модуляция (как в B.3.1.2.1.2)

###### B.3.3.2.1.3 Условия ввода света (как в B.3.1.2.1.3)

###### B.3.3.2.1.4 Съемник мод оболочки (как в B.3.1.2.1.4)

###### B.3.3.2.1.5 Оптический детектор (как в B.3.1.2.1.5)

### B.3.3.2.2 Процедура

#### B.3.3.2.2.1 Стандартный испытательный образец

Измерение должно выполняться на отрезке одномодового волокна в составе кабеля. Отрезок кабеля длиной 22 м должен быть подготовлен таким образом, чтобы на каждом конце этого отрезка имелось по 1 м волокна, отделенного от кабеля, а оставшаяся часть длиной 20 м была проложена без каких-либо резких изгибов, которые могли бы оказывать влияние на результат измерения. Для моделирования муфты для спlicingа на каждом отрезке волокна, отделенного от кабеля, должна быть выполнена петля радиусом XX мм (см. рис. В-8/G.652). Хотя допустимы некоторые случайные изгибы с большими радиусами в кабеле или в волокне, они не должны вносить серьезных изменений в результат измерения. Следует зарегистрировать зависимость выходной мощности  $P_1(\lambda)$  от  $\lambda$  в достаточно широком диапазоне вокруг ожидаемой длины волны среза.

*Примечание.* — Величина XX в настоящее время изучается. Некоторые Администрации указывают, что вполне пригодна величина 45 мм. Предполагается, что петли будут моделировать условия монтажа; они должны выбираться в соответствии с практикой каждой конкретной Администрации. Предполагается рассмотреть вариант исключения петель, если такой практики придерживаются Администрации.

#### B.3.3.2.2.2 Передача по эталонному образцу (как в B.1.2.2.2)

#### B.3.3.2.2.3 Вычисления

Логарифмическое соотношение между передаваемыми мощностями  $P_1(\lambda)$  и  $P_i(\lambda)$  вычисляется следующим образом:

$$R(\lambda) = 10 \log [P_1(\lambda)/P_i(\lambda)] \quad (\text{дБ}), \quad (1)$$

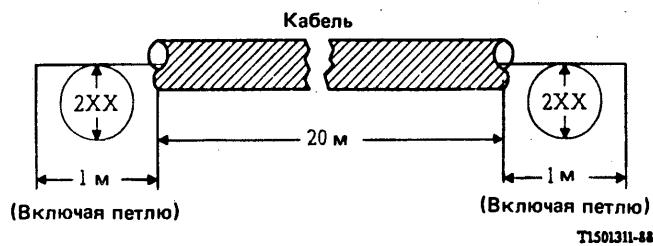
где  $i = 2$  или 3 для методов a) или b), соответственно.

#### B.3.3.2.2.4 Определение длины волны среза волокна в кабеле

Если используется способ a), то длина волны среза  $\lambda_{cc}$  определяется как наибольшая длина волны, при которой  $R(\lambda) = 0,1$  дБ (см. рис. В-5). Если используется способ b), то длина волны среза  $\lambda_{cc}$  определяется пересечением кривой  $R(\lambda)$  с прямой (2), которая смещена на 0,1 дБ и параллельна прямой (1), соответствующей участку больших длин волны на кривой  $R(\lambda)$  (см. рис. В-6).

#### B.3.3.2.2.5 Представление результатов

- a) схема измерительного устройства (включая петли с радиусом XX);
- b) условия ввода света;
- c) тип эталонного образца;
- d) температура образца и условия окружающей среды (в случае необходимости);
- e) определение волокна и кабеля;
- f) измерительный диапазон длин волны;
- g) длина волны среза волокна в кабеле и кривая  $R(\lambda)$  (в случае необходимости);
- h) кривая  $R(\lambda)$  (в случае необходимости).



T1501311-88

РИСУНОК В-8/G.652

Условия укладки волокна для измерения длины волны среза волокна, входящего в состав кабеля

**B.4.1 Введение**

**B.4.1.1 Цель**

Испытания, связанные с измерением затухания, имеют своей целью обеспечить возможность установления такой определенной величины затухания для отрезка волокна, чтобы посредством сложения отдельных величин затухания можно было определить суммарное затухание на участке волокна, состоящем из нескольких его отрезков.

**B.4.1.2 Определение**

Затухание  $A(\lambda)$  при длине волны  $\lambda$  между двумя поперечными сечениями волокна, которые находятся друг от друга на расстоянии  $L$ , определяется как

$$A(\lambda) = 10 \log [P_1(\lambda)/P_2(\lambda)] \quad (\text{дБ}), \quad (1)$$

где  $P_1(\lambda)$  – оптическая мощность, проходящая через сечение 1, а  $P_2(\lambda)$  – оптическая мощность, проходящая через сечение 2 при длине волны  $\lambda$ .

Для однородного волокна можно рассчитать величину затухания на единицу длины, то есть коэффициент затухания, который зависит от длины волокна:

$$\alpha(\lambda) = A(\lambda)/L \quad (\text{дБ/единицу длины}). \quad (2)$$

*Примечание.* – Величины затухания, заданные для строительных длин, должны измеряться при комнатной температуре (то есть в диапазоне от 10 до 35°C).

**B.4.2 Эталонный метод измерения: метод среза волокна**

Метод среза волокна представляет собой прямое применение определения затухания, при котором уровни мощности  $P_1$  и  $P_2$  измеряются в двух точках волокна без изменения условий ввода света.  $P_2$  есть мощность, исходящая из дальнего конца волокна,  $P_1$  – мощность, исходящая из точки, которая расположена вблизи входа после среза волокна.

**B.4.2.1 Измерительное устройство**

Измерения могут выполняться на одной или нескольких длинах волн пятна или – в другом варианте – может понадобиться спектральная характеристика в диапазоне длин волн. Примеры, приведенные на рис. B-9/G.652, показывают блок-схемы требуемых измерительных устройств.

**B.4.2.1.1 Источник света**

Должен быть использован соответствующий источник света, например, лампа, лазер или светодиод. Выбор источника зависит от типа выполняемого измерения. Его положение, интенсивность и длина волны должны быть стабильными в течение промежутка времени, достаточного для выполнения измерения. Ширина спектра (ППМШ) источника должна быть небольшой по сравнению с любой характеристикой спектрального затухания волокна.

**B.4.2.1.2 Модуляция**

Как правило, для улучшения отношения сигнал/шум в приемнике источник света модулируется. При использовании такого метода детектор должен быть связан с системой обработки сигнала, синхронизированной по отношению к частоте модуляции источника света. Система детектирования должна быть практически линейной.

**B.4.2.1.3 Условия ввода света**

Применимые условия ввода света должны обеспечивать возбуждение основной моды. В качестве примера можно привести следующие способы ввода света:

- a) соединение с волокном,
- b) ввод света с использованием соответствующей оптической системы.

**B.4.2.1.4 Фильтр мод**

Необходимо применять соответствующие меры для предотвращения распространения мод более высоких порядков в оставшемся после среза отрезке волокна. С этой целью можно внести в него изгиб для подавления мод более высоких порядков.

#### B.4.2.1.5 Съемник мод оболочки

Съемник мод оболочки представляет собой устройство, которое позволяет выполнять преобразование мод оболочки в моды излучения; в результате моды оболочки снимаются с волокна.

#### B.4.2.1.6 Оптический детектор

Для улавливания всех излучений выходного конуса используется соответствующий детектор. Спектральная характеристика должна быть совместима со спектральной характеристикой источника света. Детектирование должно быть равномерным по спектру и иметь линейные характеристики.

#### B.4.2.2 Процедура измерения

##### B.4.2.2.1 Подготовка испытываемого волокна

Торцы волокна должны быть чистыми, ровными и перпендикулярными к оси волокна. При выполнении измерений на волокнах, не объединенных в кабель, намотка волокна на барабан должна быть слабой, чтобы поверхность барабана не способствовала возникновению эффектов микроизгиба.

##### B.4.2.2.2 Процедура

- 1) Испытываемое волокно помещается в измерительное устройство. Регистрируется выходная мощность  $P_2$ .
- 2) Сохраняя условия ввода света без изменений, волокно обрезают, оставляя необходимую длину (например, 2 м от точки ввода света). В случае необходимости вновь устанавливают съемник мод оболочки, а затем регистрируют выходную мощность  $P_1$  оставшегося отрезка волокна.
- 3) На основании значений  $P_1$  и  $P_2$  по определению можно вычислить затухание волокна между точками, в которых были измерены  $P_1$  и  $P_2$ .

#### B.4.2.2.3 Представление результатов

Должны быть представлены следующие данные:

- a) схема измерительного устройства, включая тип источника света, длину волны и ширину спектральной линии (ППМШ);
- b) определение волокна;
- c) длина образца;
- d) затухание образца, выраженное в дБ;
- e) коэффициент затухания, выраженный в дБ/км;
- f) точность измерения и его воспроизводимость;
- g) температура образца и условия окружающей среды (в случае необходимости).

#### B.4.3 Первый альтернативный метод измерения: метод обратного рассеяния

**Примечание.** — Этот метод представляет собой способ измерения затухания в однородном образце одномодового волоконно-оптического кабеля. Он может быть использован для проверки на оптическую непрерывность, наличие дефектов материала, а также проверки сростков, обратного рассеяния света в оптических кабелях и длины волокна.

##### B.4.3.1 Условия ввода света

Луч света должен вводиться коаксиально с торца волокна; с целью ограничения френелевских отражений можно использовать различные средства, например, материалы с согласующимися показателями преломления. Затухание связи должно быть сведено к минимуму.

##### B.4.3.2 Измерительное устройство и процедура измерения

###### B.4.3.2.1 Общие соображения

Уровень оптического сигнала с обратным рассеянием, как правило, невысок и близок к уровню шума. Поэтому для улучшения отношения сигнал/шум и динамического диапазона измерений обычно используется источник света большой мощности в сочетании с обработкой детектируемого сигнала. Кроме того, для обеспечения точного пространственного разрешения может потребоваться регулировка длительности импульсов с целью достижения компромисса между разрешающей способностью и энергией импульса. Особое внимание следует уделять тому, чтобы свести к минимуму френелевские отражения.

Необходимо принимать меры для предотвращения распространения мод более высоких порядков.

Пример устройства представлен на рис. B-10a/G.652.



#### B.4.3.2.2 Оптический источник

Следует использовать оптический источник со стабильно высокой мощностью и соответствующей длиной волны. Длину волны источника следует регистрировать. Длительность и частота повторения импульсов должны быть совместимы с требуемой разрешающей способностью и длиной волокна. Нелинейные оптические эффекты в испытываемом отрезке волокна должны подавляться.

#### B.4.3.2.3 Устройство связи

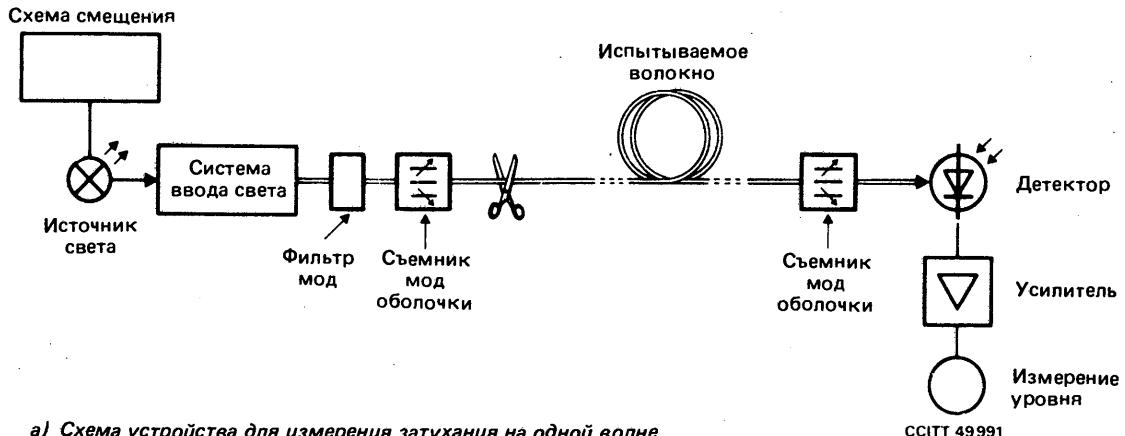
Следует использовать устройство связи для ввода излучения источника в волокно и ввода излучения обратного рассеяния в детектор, избегая при этом прямой связи между источником и детектором. Можно применять устройства различных типов, но устройства, принцип действия которых основан на эффектах поляризации, применять не следует.

#### B.4.3.2.4 Оптическое детектирование

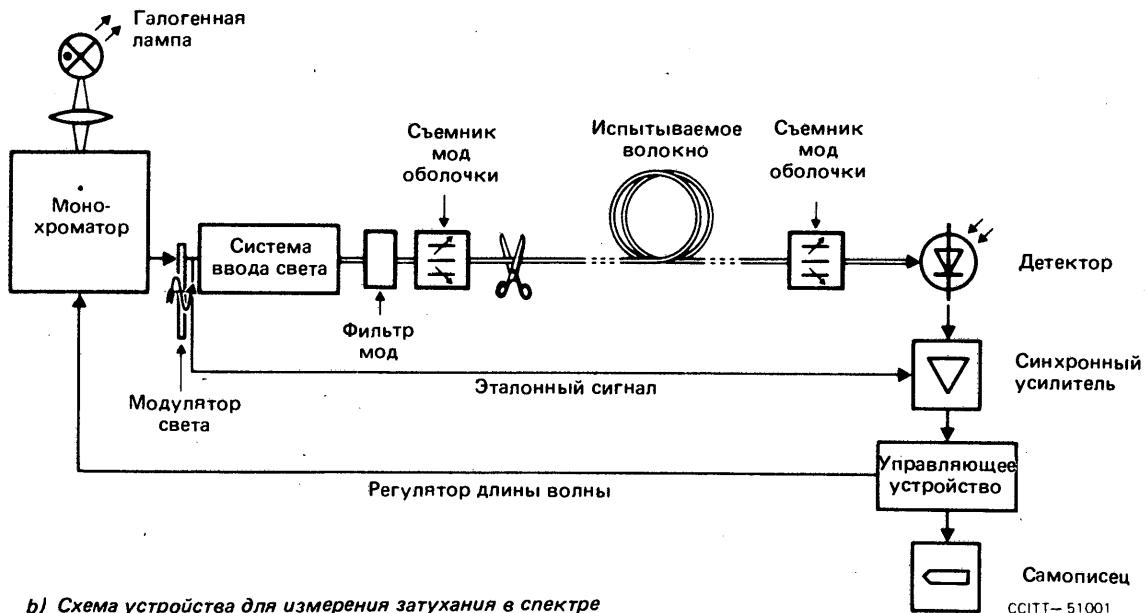
Для улавливания максимально возможной мощности обратного рассеяния необходимо применять соответствующий детектор. Характеристика детектора должна соответствовать уровням и длинам волн детектируемых сигналов. Для измерения затухания характеристика детектора должна быть практически линейной.

Для улучшения отношения сигнал/шум требуется обработка сигнала; желательно, чтобы этот детектор имел логарифмическую характеристику.

ЗА оптическим детектором должен следовать соответствующий усилитель, что позволит получить уровень сигнала, достаточный для его обработки. Ширина полосы усилителя должна выбираться как компромисс между временной разрешающей способностью и снижением помех.



a) Схема устройства для измерения затухания на одной волне



b) Схема устройства для измерения затухания в спектре

РИСУНОК В-9/G.652

Метод среза

#### B.4.3.2.5 Съемник мод оболочки

См. § B.2.1.5.

#### B.4.3.2.6 Процедура

- 1) Испытываемое волокно центрируется с устройством связи.
- 2) Мощность обратного рассеяния сканируется устройством обработки сигнала и регистрируется в логарифмическом масштабе. Такая типичная кривая приведена на рис. B-10b/G.652.
- 3) Затухание между точками А и В этой кривой, которые соответствуют двум поперечным сечениям волокна, определяется по формуле:

$$A(\lambda) = \frac{1}{2} (V_A - V_B) \quad (\text{дБ}),$$

где  $V_A$  и  $V_B$  — это соответствующие уровни мощности, которые представлены в логарифмическом масштабе.

*Примечание.* — При расчете следует учитывать условия рассеяния между А и В.

- 4) В случае необходимости можно выполнять двусторонние измерения совместно с вычислениями, чтобы улучшить качество результатов и получить возможность отличать крутизну от влияния неоднородностей.

#### B.4.3.2.7 Результаты

Должны быть представлены следующие данные:

- a) виды измерений и характеристики;
- b) способ ввода света;
- c) практическая организация измерения;
- d) относительная влажность и температура образца (в случае необходимости);
- e) определение волокна;
- f) длина образца;
- g) время нарастания, ширина и частота повторения импульсов;
- h) вид обработки сигнала;
- i) кривая затухания образца, вычерченная в логарифмическом масштабе, а в некоторых случаях — коэффициент затухания, выраженный в дБ/км.

*Примечание.* — Полный анализ вычерченной кривой (рис. B-10b/G.652) показывает, что независимо от измерения затухания метод обратного рассеяния дает возможность наблюдать за многими явлениями, такими как:

- a) отражение, вызываемое устройством связи на входном конце волокна;
- b) участок постоянной крутизны;
- c) нарушение однородности вследствие местных дефектов, сростка или связи;
- d) отражение вследствие дефекта диэлектрика;
- e) отражение на конце волокна.

### B.4.4 Второй альтернативный метод измерения: метод вносимого затухания

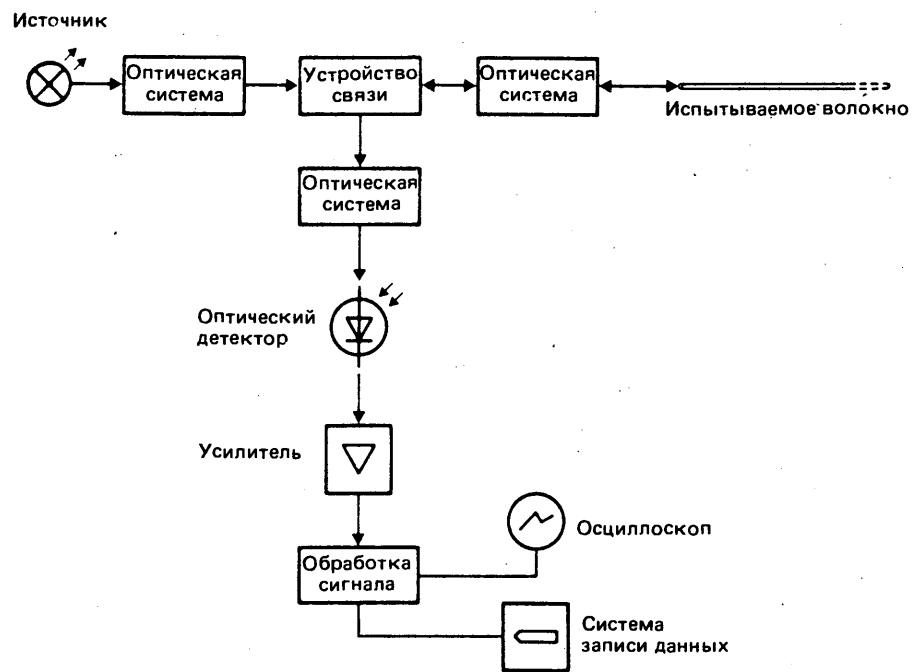
В настоящее время изучается.

## B.5 — Раздел V — Методы измерения коэффициента хроматической дисперсии

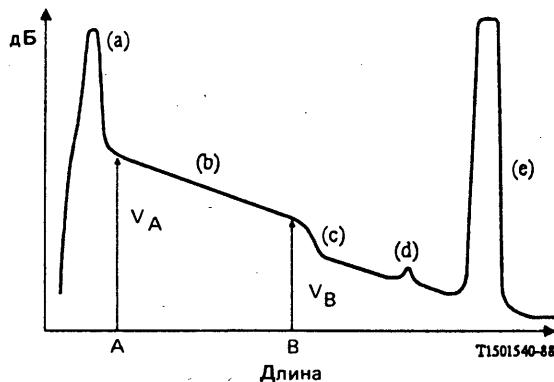
### B.5.1 Эталонный метод измерения коэффициента хроматической дисперсии

#### B.5.1.1 Цель

Коэффициент хроматической дисперсии волокна определяется посредством измерения относительной групповой задержки, которую испытывают волны различной длины во время распространения по рассматриваемому отрезку волокна.



a) Схема устройства



b) Типичная кривая мощности обратного рассеяния

РИСУНОК В-10/G.652

Метод обратного рассеяния

Групповую задержку можно измерять как во временной, так и в частотной области в зависимости от типа модуляции источника.

В первом случае измеряется время задержки импульсов при различных длинах волн; во втором случае регистрируется сдвиг фазы синусоидального модулирующего сигнала, а затем он обрабатывается для получения времени задержки.

Хроматическая дисперсия может измеряться при фиксированной длине волны или в диапазоне длин волн.

### B.5.1.2 Измерительное устройство

Блок-схема измерительного устройства представлена на рис. В-11/G.652.

#### B.5.1.2.1 *Источник*

Следует использовать источник, положение, интенсивность и длина волны которого остаются стабильными в течение промежутка времени, достаточного для выполнения измерения. Можно применять лазерные диоды, светодиоды или широкополосные источники (например, лазер на алюмоиттриевом гранате, легированном неодимом с комбинированным волокном) в зависимости от диапазона измерительных длин волн.

В любом случае модулирующий сигнал должен обеспечивать достаточную временную разрешающую способность для измерения групповой задержки.

#### B.5.1.2.2 *Выбор длины волны*

Селектор длины волны используется для выбора длины волны, на которой следует измерять групповое время задержки. В зависимости от типа источников света и измерительных схем могут быть использованы оптический переключатель, монохроматор, рассеивающие устройства, оптические фильтры, оптические ответвители, соединители и т.п.. Селекция может производиться переключением электрических управляющих сигналов для источников света с различными длинами волн. Селектор длины волны может использоваться либо на входном, либо на выходном конце испытываемого волокна.

#### B.5.1.2.3 *Детектор*

Световое излучение с выходного конца волокна поступает на фотодетектор, имеющий отношение сигнал/шум и временную разрешающую способность, которые пригодны для выполнения настоящего измерения. В случае необходимости детектор дополняется малошумящим усилителем.

#### B.5.1.2.4 *Контрольный канал*

Контрольный канал может представлять собой электрическую или оптическую линию. В случае необходимости этот канал может включать соответствующий источник временной задержки. В некоторых случаях само испытываемое волокно может служить линией контрольного канала.

#### B.5.1.2.5 *Измеритель задержки*

Измеритель задержки должен измерять время задержки или сдвиг фаз между эталонным сигналом и сигналом в канале. В случае синусоидальной модуляции можно использовать векторный вольтметр. В случае импульсной модуляции можно использовать высокоскоростной или стробирующий осциллограф.

#### B.5.1.2.6 *Устройство обработки сигнала*

Для уменьшения шума и/или дрожания фазы измеряемого сигнала можно дополнительно использовать устройство обработки сигнала. В случае необходимости для контроля за аппаратурой, регистрации данных и численной их оценки можно использовать цифровой компьютер.

#### B.5.1.3 *Процедура*

Испытываемое волокно соответствующим образом соединяется с источником и детектором с помощью селектора длины волны или оптического делителя и т.п. В случае необходимости можно выполнить калибровку хроматической задержки источника. Должен быть достигнут необходимый компромисс между разрешающей способностью устройства по длине волны и уровнем сигнала. Если испытываемое волокно не используется в качестве линии контрольного канала, то во время проведения измерения температура волокна должна быть достаточно стабильной.

Время задержки или сдвиг фаз между эталонным сигналом и сигналом в канале на рабочей длине волны должны измеряться измерителем задержки. Для получения коэффициента хроматической дисперсии на рабочей длине волны используется обработка данных, которая соответствует типу модуляции. В случае необходимости можно получить спектральную зависимость групповой задержки от длины волны и на основании полученных при измерении данных построить соответствующую кривую.

Зависимость измеряемой групповой задержки на единицу длины волокна от длины волны аппроксимируется квадратичной функцией:

$$\tau(\lambda) = \tau_0 + \frac{S_0}{2} (\lambda - \lambda_0)^2,$$

где  $\tau_0$  — минимальное значение относительной задержки для волны с нулевой дисперсией  $\lambda_0$ . Коэффициент хроматической дисперсии  $D(\lambda) = d\tau/d\lambda$  может быть определен дифференцированием квадратичной функции:

$$D(\lambda) = (\lambda - \lambda_0)S_0,$$

где  $S_0$  — (постоянная) крутизна нулевой дисперсии, то есть крутизна кривой дисперсии  $S(\lambda) = dD/d\lambda$  при  $\lambda_0$ .

*Примечание 1.* — Эти уравнения для  $\tau(\lambda)$  и  $D(\lambda)$  достаточно точны в диапазоне 1500—1600 нм. Они не предназначены для применения в диапазоне 1300 нм.

*Примечание 2.* — Коэффициент хроматической дисперсии может измеряться также непосредственно, например, с помощью метода дифференциального фазового сдвига. В этом случае коэффициент дисперсии для определения  $\lambda_0$  и  $S_0$  должен непосредственно аппроксимироваться прямой.

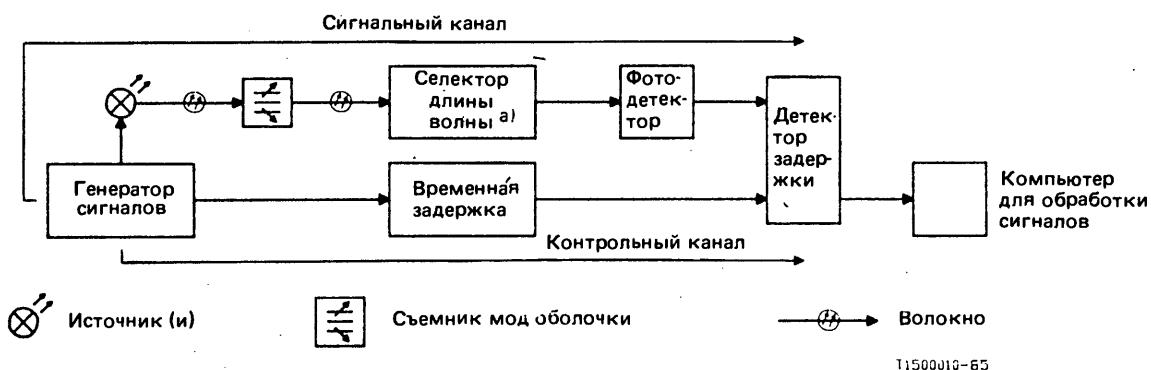
#### B.5.1.4 Представление результатов

Должны быть представлены следующие данные:

- a) схема измерительного устройства;
- b) применяемый тип модуляции;
- c) характеристики источника;
- d) определение волокна и его длина;
- e) характеристики селектора длины волны (при наличии);
- f) тип фотодетектора;
- g) характеристики измерителя задержки;
- h) величины длины волны при нулевой дисперсии и крутизны нулевой дисперсии.

Если применяется частотный метод, то величина групповой задержки  $\tau$  будет получаться из соответствующего фазового сдвига  $\varphi$  с помощью отношения  $\tau = \varphi/(2\pi f)$ , где  $f$  — частота модуляции;

- i) процедуры вычисления данных об относительной задержке в используемом для этого диапазоне длин волн;
- j) температура образца и условия окружающей среды (в случае необходимости).



- a) В случае необходимости.

РИСУНОК В-11/G.652

Типичная блок-схема измерительного устройства

## B.5.2 Альтернативный метод измерения коэффициента хроматической дисперсии: интерферометрический метод измерения

### B.5.2.1 Цель

Интерферометрический метод измерения позволяет измерять дисперсию, используя для этого короткий отрезок волокна (длиной несколько метров). С помощью этого метода можно выполнить измерение продольной однородной хроматической дисперсии оптических волокон. Кроме того, он обеспечивает возможность определять влияние общих или местных эффектов, таких как температурные изменения и потери на макроизгибах на хроматическую дисперсию.

В соответствии с принципом интерферометрических измерений с помощью интерферометра Маха-Ценделера можно выполнить измерение разности задержки — в зависимости от длины волны — между испытуемым образцом и контрольным трактом. В качестве такого контрольного тракта могут использоваться воздушный тракт или одномодовое волокно, для которого известна величина спектральной групповой задержки.

Следует отметить, что экстраполяция величин хроматической дисперсии, полученных с помощью интерферометрических измерений на отрезках волокна длиной всего лишь несколько метров, на длинные отрезки волокна предполагает продольную однородность волокна. Это предположение может оказаться не применимым для всех случаев.

### B.5.2.2 Измерительное устройство

Блок-схемы измерительного устройства, в которых применяются контрольное волокно и контрольный воздушный тракт, представлены на рис. B-12/G.652 и B-13/G.652, соответственно.

#### B.5.2.2.1 Источник света

Следует использовать источник, положение, интенсивность и длина волны которого остаются стабильными в течение промежутка времени, достаточного для выполнения измерения. В качестве источника следует использовать, например, лазер на алюмоиттриевом гранате с Рамановым волокном или ламповые источники света и светодиоды и т.п. При использовании метода синхронного усиления достаточно источник света с низкочастотной модуляцией (50—500 Гц).

#### B.5.2.2.2 Селектор длины волны

Селектор длины волны используется для выбора длины волны, на которой измеряется групповое время задержки. В зависимости от типа источников света и измерительных систем могут применяться монохроматор, интерференционный фильтр или другой селектор длины волны. Селектор длины волны может использоваться либо на входном, либо на выходном конце испытуемого волокна.

Ширина спектра источников света ограничивается точностью измерения дисперсии и составляет от 2 до 10 нм.

#### B.5.2.2.3 Оптический детектор

Оптический детектор должен иметь достаточную чувствительность в том диапазоне волн, в котором должна быть определена хроматическая дисперсия. В случае необходимости следует повысить качество принимаемого сигнала, например, с помощью схемы преобразования импедансов.

#### B.5.2.2.4 Измерительное устройство

Для регистрации интерференционных картин может применяться синхронный усилитель. Уравнивание оптической длины двух трактов интерферометра выполняется с помощью одного устройства линейной юстировки в контрольном тракте. Устройство юстировки должно обеспечивать точность, единообразие и устойчивость линейного перемещения. Изменение длины должно составлять 20—100 мм с точностью до 2 мкм.

#### B.5.2.2.5 Образец

В качестве образца можно использовать одномодовые волокна, как объединенные в кабель, так и взятые отдельно. Длина отрезка должна составлять от 1 до 10 м. Точность длины должна составлять  $\pm 1$  мм. Подготовку торцов волокна необходимо выполнять с достаточной тщательностью.

#### B.5.2.2.6 Обработка данных

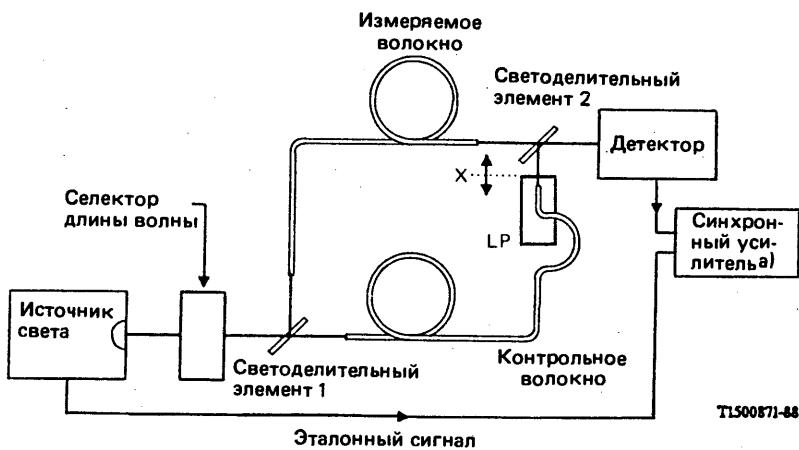
Для анализа интерференционных картин следует использовать компьютер с соответствующим программным обеспечением.

### B.5.2.3 Процедура измерений

- 1) Испытываемое волокно размещается в измерительном устройстве (рис. В-12/G.652 и В-13/G.652). Положение торцов волокна должно выверяться с помощью трехмерных устройств микроюстировки по оптимуму оптической мощности, которая поступает в детектор. Погрешности, обусловленные модами оболочки, недопустимы.
- 2) Определение групповой задержки выполняется посредством уравнивания оптических длин двух трактов интерферометра одним устройством линейной юстировки в контрольном тракте на различных длинах волны. Разность между позицией  $x_i$  максимума интерференционной картины для длины волны  $\lambda_i$  и позицией  $x_0$  (рис. В-14/G.652) определяет разность групповой задержки  $\Delta t_g(\lambda_i)$  между контрольным трактом и измеряемым трактом следующим образом:

$$\Delta t_g(\lambda_i) = \frac{x_0 - x_i}{c_0} ,$$

где  $c_0$  — это скорость света в вакууме. Групповая задержка испытываемого образца вычисляется суммированием  $\Delta t_g(\lambda_i)$  и спектральной групповой задержки контрольного тракта. Разделив эту сумму на длину измеряемого отрезка волокна, можно получить искомую групповую задержку на единицу длины  $\tau(\lambda)$  испытываемого волокна.



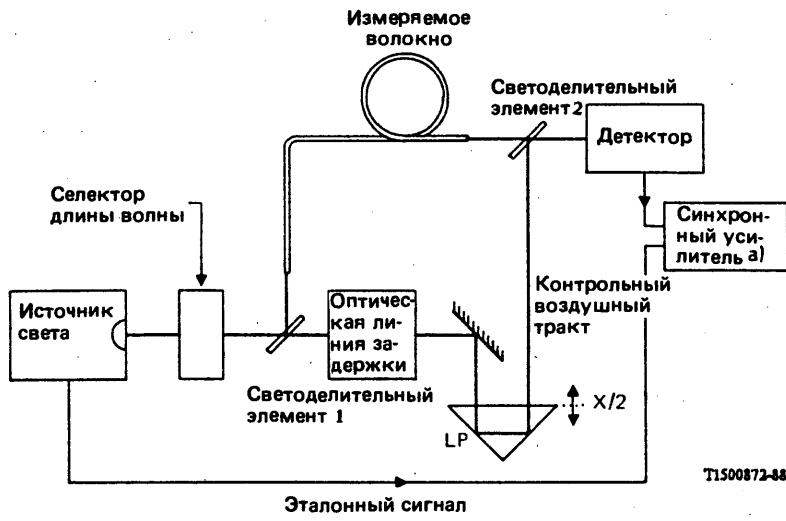
LP — устройство линейной юстировки

X — диапазон юстировки

a) В случае необходимости.

РИСУНОК В-12/G.652

Блок-схема измерительного устройства с контрольным волокном



T1500872-88

LP — устройство линейной юстировки

X — диапазон юстировки

a) В случае необходимости.

РИСУНОК В-13/G.652

Блок-схема измерительного устройства с контрольным воздушным трактом

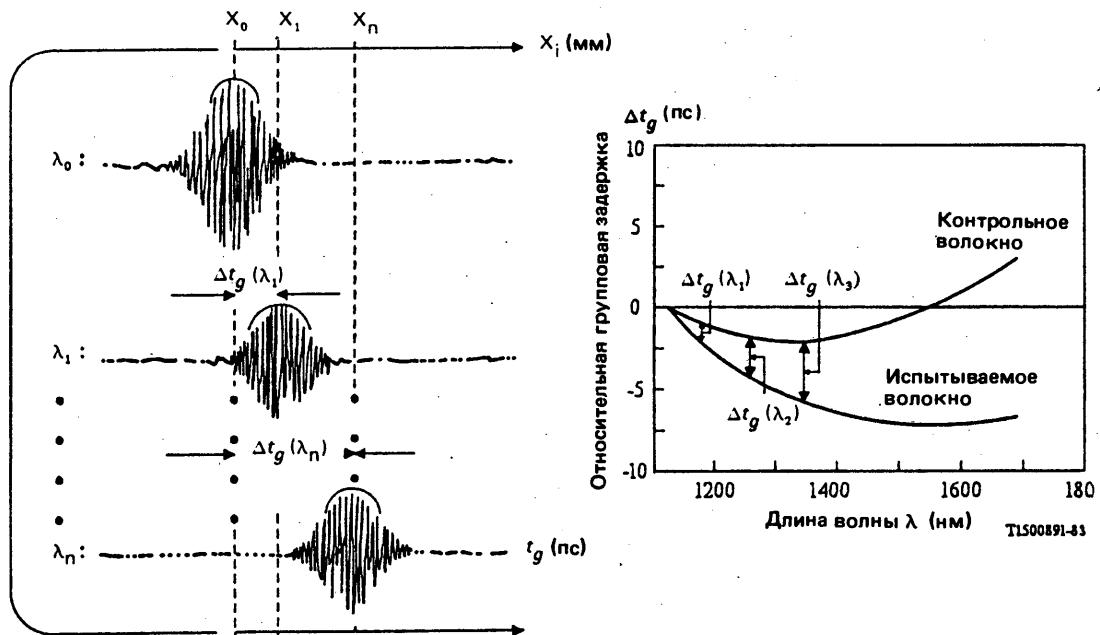


РИСУНОК В-14/G.652

Определение спектральной групповой задержки

Зависимость групповой задержки на единицу длины волокна от длины волокна аппроксимируется квадратичной функцией:

$$\tau(\lambda) = \tau_0 + \frac{S_0}{2} (\lambda - \lambda_0)^2,$$

где  $\tau_0$  — минимальное значение относительной задержки для волны с нулевой дисперсией  $\lambda_0$ . Коэффициент хроматической дисперсии  $D(\lambda) = d\tau/d\lambda$  может быть определен дифференцированной квадратичной функцией:

$$D(\lambda) = (\lambda - \lambda_0) S_0,$$

где  $S_0$  — постоянная крутизна нулевой дисперсии, то есть крутизна кривой дисперсии  $S(\lambda) = dD/d\lambda$  при  $\lambda_0$ .

*Примечание.* — Эти уравнения для  $\tau(\lambda)$  и  $D(\lambda)$  достаточно точны в диапазоне 1500—1600 нм. Они не предназначены для применения в диапазоне 1300 нм.

#### B.5.2.4 Представление результатов

Должны быть представлены следующие данные:

- a) схема измерительного устройства;
- b) характеристики источника;
- c) определение волокна и его длина;
- d) характеристики селектора длины волны (при наличии);
- e) тип фотодетектора;
- f) длина волны с нулевой дисперсией и крутизна нулевой дисперсии;
- g) процедуры вычисления данных об относительной задержке и используемый для этого диапазон волн;
- h) температура образца и условия окружающей среды (в случае необходимости).

#### Рекомендация G.653

#### ХАРАКТЕРИСТИКИ ОДНОМОДОВЫХ ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКИХ КАБЕЛЕЙ СО СДВИГОМ ДИСПЕРСИИ

(Мельбурн, 1988 г.)

МККТТ,

принимая во внимание,

(a) что волоконно-оптические кабели со сдвигом дисперсии предполагается широко использовать на сегментах электросвязи;

(b) что предусматриваемые возможные случаи применения могут потребовать нескольких видов одномодовых волокон, различающихся по рабочей длине волны, геометрическим и оптическим характеристикам, защите, дисперсии и другим характеристикам передачи,

рекомендует

одномодовое волокно со сдвигом дисперсии, которое имеет длину волны с нулевой дисперсией в диапазоне волн 1550 нм и которое оптимизировано для применения при длинах волн порядка 1550 нм. Это волокно может применяться также при длинах волн порядка 1300 нм при ограничениях, которые описаны в настоящей Рекомендации.

Описание его геометрических и оптических характеристик, а также характеристик передачи приводится ниже.

Значения терминов, используемых в настоящей Рекомендации, даны в приложении А к Рекомендации G.652; указания, которых следует придерживаться при проверочных измерениях различных характеристик, приведены в приложении В к Рекомендации G.652. В процессе изучения и по мере накопления опыта характеристики этого волокна и соответствующие им значения будут уточняться.

## 1 Характеристики волокна

В § 1 рекомендуются только те характеристики волокна, которые необходимы для его производства. Из числа этих характеристик длина волны среза волокна в кабеле может наиболее существенно изменяться при производстве или прокладке кабеля. Остальные рекомендуемые характеристики будут в равной мере относиться к отдельным волокнам, волокнам в кабеле, намотанном на барабан, и волокнам в проложенном кабеле.

Настоящая Рекомендация применима к волокнам, которые имеют名义ально круглое модовое поле.

### 1.1 Диаметр модового поля

Номинальное значение диаметра модового поля при длине волны 1550 нм должно находиться в пределах 7,0—8,3 мкм. Отклонение диаметра модового поля не должно превышать  $\pm 10\%$  от номинального значения.

*Примечание 1.* — Выбор конкретного значения в пределах вышеуказанного диапазона необязательно связан с конкретным проектом волокна.

*Примечание 2.* — Следует отметить, что характеристики волокна, необходимые для любого применения, в первую очередь зависят от основных параметров волокна и систем, то есть от диаметров модового поля, длины волны среза, хроматической дисперсии, рабочей длины волны системы и скорости/частоты работы, а не от конкретного проекта волокна.

*Примечание 3.* — Все вышеперечисленные вопросы требуют дальнейшего изучения.

### 1.2 Диаметр оболочки

Рекомендуемое名义альное значение диаметра оболочки составляет 125 мкм. Отклонение от этого значения не должно превышать  $\pm 2,4\%$  ( $\pm 3$  мкм).

Для некоторых конкретных методов сращивания и требований к потерям на сростках могут быть установлены другие допуски.

### 1.3 Погрешность концентричности модового поля

Рекомендуемая погрешность концентричности модового поля при 1550 нм не должна превышать 1 мкм.

*Примечание.* — Для некоторых методов сращивания и требований к потерям на сростках могут быть установлены допуски до 3 мкм.

### 1.4 Некруглость

#### 1.4.1 Некруглость модового поля

На практике некруглость модового поля волокон, имеющих名义ально круглые модовые поля, оказывается достаточно малой и не влияет на распространение и сращивание. Поэтому считается необязательным рекомендовать какое-либо конкретное значение для некруглости модового поля. Как правило, необязательно измерять эту некруглость при приемочных испытаниях.

#### 1.4.2 Некруглость оболочки

Некруглость оболочки должна быть меньше 2%. Для некоторых конкретных методов сращивания и требований к потерям на сростках могут быть установлены другие допуски.

### 1.5 Длина волны среза

Этот вопрос в настоящее время изучается.

### 1.6 Поведение при изгибе на 1550 нм

Увеличение затухания для 100 витков волокна, свободно намотанного с радиусом 37,5 мм и измеренного на 1550 нм, должно быть меньше 0,5 дБ.

*Примечание 1.* — Квалификационных испытаний может оказаться достаточно, чтобы удостовериться в том, что это требование удовлетворяется.

*Примечание 2.* — Вышеуказанное значение 100 витков соответствует приблизительному числу петель, которые используются на типовом регенерационном участке. Радиус 37,5 мм эквивалентен минимальному радиусу изгиба, широко принятому для перспективного применения волокон в используемых на практике системах во избежание отказов из-за статической усталости.

*Примечание 3.* — Если для выполнения этого испытания по практическим соображениям выбирается менее 100 витков, то предполагается, что используется не менее 40 витков и пропорционально меньше увеличение затухания.

*Примечание 4.* — Если предусматривается использование радиусов изгиба менее 37,5 мм в случаях сращивания или где-либо еще в системе (например,  $R = 30$  мм), то предполагается, что та же величина затухания 0,5 дБ должна быть использована для 100 витков волокна, который имеет этот меньший радиус изгиба.

*Примечание 5.* — Рекомендация, касающаяся затухания вследствие изгиба на 1550 нм, относится к прокладке волокон в практических устройствах для одномодовых волокон. Влияние на величину затуханий радиусов изгиба, связанных со скручиванием одномодовых волокон в кабель, включается в технические требованияния на волокно в кабеле.

*Примечание 6.* — В случае, когда необходимо выполнять часто повторяющиеся испытания, вместо измерений, которые выполняются на 100 витках, может использоваться петля малого диаметра с одним или несколькими витками для обеспечения точности и легкости измерений чувствительности к изгибу на 1550 нм. В этом случае диаметр петли, число витков и максимально допустимое затухание вследствие изгиба при выполнении измерения на нескольких витках должны выбираться таким образом, чтобы соответствовать рекомендации относительно затухания 0,5 дБ при выполнении измерения на 100 витках при радиусе изгиба 37,5 мм.

## 1.7 Свойства материалов, из которых выполнено волокно

### 1.7.1 Материалы, из которых выполнено волокно

Необходимо указывать материалы, из которых выполнены волокна.

*Примечание.* — Необходимы предосторожности при сварке волокон, выполненных из различных материалов. Предварительные результаты показывают, что приемлемые потери и прочность соединений можно получить при соединении различных волокон с высоким содержанием кремния.

### 1.7.2 Защитные материалы

Необходимо указывать физические и химические свойства материала, который используется для первичного покрытия волокна, а также наилучший способ его снятия (в случае необходимости). Аналогичные указания должны быть даны в случае одиночного покрытия волокна.

## 1.8 Профиль показателя преломления

Профиль показателя преломления волокна знать, как правило, нет необходимости; если потребуется выполнить измерение, то можно использовать эталонный метод измерений, который описан в Рекомендации G.651.

## 2 Технические требования на строительную длину

Поскольку геометрические и оптические характеристики волокна, указанные в § 1, изменяются только под влиянием процесса изготовления кабеля, в § 2 даются рекомендации, относящиеся, главным образом, к характеристикам передачи строительных длин кабеля.

Очень важны условия окружающей среды и условия выполнения измерений; они описаны в указаниях по методам измерений.

### 2.1 Коэффициент затухания

Волоконно-оптические кабели, которые рассматриваются в данной Рекомендации, как правило, имеют коэффициенты затухания в диапазоне 1550 нм ниже 0,5 дБ/км. Когда они предназначаются для использования в диапазоне 1300 нм, их коэффициент затухания в этом диапазоне, как правило, ниже 1 дБ/км.

*Примечание.* — Достижение наименьших значений зависит от процесса изготовления, строения волокна и его проектирования, а также от конструкции кабеля. В диапазоне 1550 нм были получены значения 0,19—0,25 дБ/км.

## 2.2 Коэффициент хроматической дисперсии

Этот вопрос в настоящее время изучается.

*Примечание 1.* — Максимальный коэффициент хроматической дисперсии одномодовых волокон, рассматриваемых в настоящей Рекомендации, должен быть следующим:

Длина волны (нм)	Максимальный коэффициент хроматической дисперсии [ (пс/ (нм · км) ]
1525–1575	3,5
Диапазон 1300	изучается

*Примечание 2.* — Значение 3,5 пс/(нм·км) допускает при скорости передачи 560 Мбит/с создание участков регенерации, ограниченных затуханием, при использовании соответствующих лазеров с несколькими продольными модами и адекватного линейного кодирования.

*Примечание 3.* — Для систем с большей пропускной способностью (более 560 Мбит/с) или большими длинами участков следует использовать область, более близкую к волне с нулевой дисперсией (если не используются лазеры с одной продольной модой). В этом случае может возникнуть необходимость в стандартизации дополнительных параметров волокна (таких, как длина волны с нулевой дисперсией, крутизна дисперсии и т.п.). Для определения этих параметров требуется дальнейшее изучение.

*Примечание 4.* — Нет необходимости в частом повторении измерений коэффициента хроматической дисперсии.

## 3 Элементарные кабельные участки

Как правило, элементарный кабельный участок включает несколько сочлененных строительных длин. Требования, предъявляемые к строительным длинам, приведены в § 2 настоящей Рекомендации. Характеристики передачи элементарных кабельных участков должны учитывать не только рабочие характеристики отдельных кабельных длин, но и такие факторы, как потери на сростках и потери на разъемах (в случае их применения).

### 3.1 Затухание

Затухание  $A$  элементарного кабельного участка определяется по следующей формуле:

$$A = \sum_{n=1}^m a_n \cdot L_n + a_s \cdot X + a_c \cdot y,$$

где

$a_n$  — коэффициент затухания  $n$ -ого волокна на элементарном кабельном участке,

$L_n$  — длина  $n$ -ого волокна,

$m$  — общее число последовательно соединенных волокон на элементарном кабельном участке,

$a_s$  — среднее значение потерь сростка,

$X$  — число сростков на элементарном кабельном участке,

$a_c$  — среднее значение потерь на линейных разъемах,

$y$  — число линейных разъемов на элементарном кабельном участке (в случае их применения).

Необходимо предусмотреть соответствующий запас затухания кабеля на изменение его конфигурации в будущем (дополнительные сростки, дополнительные длины, эффекты старения, температурные колебания и т.п.). Приведенное выше уравнение не включает потери на разъемах аппаратуры.

Для потерь на сростках и разъемах используется среднее значение потерь. Запас по затуханию, который используется при разработке конкретной системы, должен учитывать статистические изменения этих параметров.

### 3.2 Хроматическая дисперсия

Хроматическая дисперсия (в пс) может быть вычислена по коэффициентам хроматической дисперсии строительных длин, при этом подразумевается линейная зависимость от длины — с учетом знаков коэффициентов и характеристик источника света (см. § 2.2).

### ПРИЛОЖЕНИЕ А

(к Рекомендации G.653)

#### Значение терминов, используемых в настоящей Рекомендации

Большинство определений, которые содержатся в приложении А к Рекомендации G.652, применимы в основном и к волокну со сдвигом дисперсии. Поскольку опыт работы с волокном такого типа невелик, требуется дальнейшее изучение правильности некоторых определений.

### ПРИЛОЖЕНИЕ В

(к Рекомендации G.653)

#### Методы измерения одномодовых волокон со сдвигом дисперсии

В настоящее время опыт работы с одномодовыми волокнами со сдвигом дисперсии еще невелик, поэтому требуется дальнейшее изучение некоторых эталонных и альтернативных методов измерений волокна этого типа. Тем не менее, большинство методов, описанных в приложении В к Рекомендации G.652, в принципе может быть использовано также для волокон со сдвигом дисперсии. Поэтому настоящее приложение ссылается на методы измерения, соответствующие указанным в приложении В к Рекомендации G.652; особенности каждого метода измерения требуют дальнейшего изучения. Следует отметить, что рабочая длина волны для волокон, описанных в Рекомендации G.653, находится в диапазоне 1550 нм.

### Рекомендация G.654

#### ХАРАКТЕРИСТИКИ ОДНОМОДОВЫХ ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКИХ КАБЕЛЕЙ С ЗАТУХАНИЕМ, МИНИМИЗИРОВАННЫМ НА ВОЛНЕ 1550 нм

(Мельбурн, 1988 г.)

МККТТ,

принимая во внимание,

- (а) что для применения на некоторых сетях электросвязи требуются волокна с очень малыми потерями;
- (б) что предусматриваемые возможные случаи применения могут потребовать нескольких видов одномодовых волокон, отличающихся по:
  - геометрическим характеристикам,
  - рабочей длине волны,
  - затуханию, дисперсии и другим оптическим характеристикам;
- (с) что прогресс в изучении практического применения может привести к разработке Рекомендаций по различным видам одномодовых волокон,

рекомендует

одномодовое волокно, которое имеет нулевую дисперсию в диапазоне 1300 нм, минимизированное затухание в области 1550 нм и предназначено для применения в этом диапазоне.

Описание его геометрических и оптических характеристик, а также характеристики передачи приводится ниже.

Значения терминов, используемых в настоящей Рекомендации, даны в приложении А; указания, которых следует придерживаться при выполнении проверочных измерений различных характеристик, приведены в приложении В.

*Примечание.* — В процессе изучения и по мере накопления опыта характеристики этого волокна и соответствующие им значения будут уточняться.

## 1 Характеристики волокна

### 1.1 Диаметр модового поля

Номинальная величина диаметра модового поля на волне 1550 нм должна составлять xx мкм. Отклонение диаметра модового поля не должно превышать  $\pm 10\%$  от номинальной величины.

*Примечание.* — Величина xx подлежит определению. Одним из возможных значений является 10,5.

### 1.2 Диаметр оболочки

Рекомендуемое номинальное значение диаметра оболочки составляет 125 мкм. Отклонение от этого значения не должно превышать  $\pm 2,4\%$  ( $\pm 3$  мкм).

### 1.3 Погрешность концентричности модового поля

Рекомендуемая погрешность концентричности модового поля при длине волны 1550 нм не должна превышать 1 мкм<sup>1)</sup>.

### 1.4 Некруглость

#### 1.4.1 Некруглость модового поля

На практике некруглость модового поля волокон, имеющих номинально круглые модовые поля, оказывается достаточно малой и не влияет на распространение и сращивание. Поэтому считается необязательным рекомендовать какое-либо конкретное значение для некруглости модового поля. Как правило, необязательно измерять эту некруглость при приемочных испытаниях.

#### 1.4.2 Некруглость оболочки

Некруглость оболочки должна быть меньше 2%. Для некоторых конкретных методов сращивания и требований, предъявляемых к потерям на сростках, могут быть установлены другие допуски.

### 1.5 Длина волны среза

Значения длины волны среза должны иметь диапазон xxxx нм и yyyy нм для  $\lambda_c$  и быть меньше zzzz нм для  $\lambda_{cc}$ .

*Примечание.* — Должны быть определены значения для xxxx, yyyy и zzzz; возможными являются значения 1350 для xxxx, 1600 для yyyy и 1530 для zzzz.

### 1.6 Поведение при изгибе на волне 1550 нм

В настоящее время этот вопрос изучается.

*Примечание.* — Поведение этого волокна должно быть не хуже, чем поведение волокна, рассмотренного в Рекомендации G.653.

### 1.7 Свойства материалов, из которых выполнено волокно

Эти свойства рассмотрены в § 1.7 Рекомендации G.652.

### 1.8 Пример указаний по проектированию волокна

Пример указаний по проектированию волокна для волокон с согласованными оболочками, которые применяются одной организацией, излагается в Дополнении № 33.

<sup>1)</sup> В настоящее время этот вопрос изучается.

## **2 Технические требования на строительную длину**

### **2.1 Коэффициент затухания**

Волоконно-оптические кабели, которые рассматриваются в настоящей Рекомендации, должны иметь коэффициенты затухания в диапазоне 1550 нм.<sup>2)</sup>

*Примечание.* — Достигение наименьших значений зависит от процесса изготовления, строения волокна и его проектирования, а также от конструкции кабеля. В диапазоне 1550 нм были получены значения 0,15—0,20 дБ/км.

### **2.2 Коэффициент хроматической дисперсии**

Максимальный коэффициент хроматической дисперсии одномодовых волокон, рассматриваемых в настоящей Рекомендации, в диапазоне 1550 нм должен составлять 20 пс/(нм·км).

## **3 Элементарные кабельные участки**

См. § 3 Рекомендации G.652.

## **ПРИЛОЖЕНИЕ А**

(к Рекомендации G.654)

### **Значение терминов, используемых в настоящей Рекомендации**

Большинство определений, которые содержатся в приложении А к Рекомендации G.652, применимы в основном и к волокну с минимизированным затуханием. Поскольку опыт работы с волокном такого типа невелик, требуется дальнейшее изучение правильности некоторых определений.

## **ПРИЛОЖЕНИЕ В**

(к Рекомендации G.654)

### **Методы измерения одномодовых волокон с минимизированным затуханием**

В настоящее время опыт работы с одномодовыми волокнами с минимизированным затуханием еще невелик, поэтому требуется дальнейшее изучение некоторых эталонных и альтернативных методов измерений волокна этого типа. Тем не менее, большинство методов, описанных в приложении В к Рекомендации G.652, в принципе может быть использовано также для волокон с минимизированным затуханием. Поэтому настоящее приложение ссылается на методы измерения, соответствующие указанным в приложении В к Рекомендации G.652; особенности каждого метода требуют дальнейшего изучения. Следует отметить, что рабочая длина волны для волокон, описанных в Рекомендации G.654, находится в диапазоне 1550 нм.

<sup>2)</sup> В настоящее время этот вопрос изучается.

**ЧАСТЬ II**

**ДОПОЛНЕНИЯ К РЕКОМЕНДАЦИЯМ РАЗДЕЛА 6  
РЕКОМЕНДАЦИЙ СЕРИИ G**

**PAGE INTENTIONALLY LEFT BLANK**

**PAGE LAISSEE EN BLANC INTENTIONNELLEMENT**

## Дополнение № 11

## ДАННЫЕ О СУДАХ-КАБЕЛЕУКЛАДЧИКАХ И ОБОРУДОВАНИИ ПОДВОДНЫХ СИСТЕМ ПЕРЕДАЧИ РАЗЛИЧНЫХ СТРАН

(Мар-дель-Плата, 1968 г., изменено в Женеве в 1972, 1976, 1980, 1984 и 1988 гг.; упоминается в подразделе 6.3 Рекомендаций серии G)

## Раздел 1 – СУДА-КАБЕЛЕУКЛАДЧИКИ

Название судна	Год постройки	Водоизмещение (тонны)	Полная длина (м)	Осадка (м)	Нормальная скорость (узлы)	Дальность (автономного плавания) (морские мили)	Число кабельных отсеков	Грузовместимость				Механизм для укладки и подъема подводных кабелей			Максимальная глубина прокладки (м)	Возможности		
								Кабель		Усили-тели	Барабан прямой подачи (диаметр) (м)	Шкив размотки						
								Куб. метры (м <sup>3</sup> )	Вес (тонны)			Носовой блок (диаметр) (м)	Кормовой блок (диаметр) (м)					
<i>John Cabot</i>	1985	6400	95	7	13/16	6500	3	614	800	24	1 x 3,0 (30 т) + линейный двигатель (18 пар колес)	3,0	—	На всех глубинах	Ремонтное судно. Возможно применение траншеекопателей.			
<i>Peter Faber</i>	1982	Без загрузки 750 С загрузкой 1830	78,4	Без загрузки 3,8 С загрузкой 5,0	14,0	7000	1 отсек 1 трюм	310 230	600 400	Приблизительно 10	3,0	3,0	—	4000	С усиленным корпусом для работы в ледовых условиях.  На юге: одна А-образная рама с гидравлическим подъемником. Максимальная грузоподъемность 35 тонн. Одна гидравлическая лебедка для буксировки и одна универсальная лебедка. Две гидравлические верповальные лебедки со сдвоенными барабанами.			

## Раздел 1 – СУДА-КАБЕЛЕУКЛАДЧИКИ (продолжение)

Название судна	Год постройки	Водоизмещение (тонны)	Полная длина (м)	Осадка (м)	Нормальная скорость (узлы)	Дальность (автономного плавания) (морские мили)	Число кабельных отсеков	Грузовместимость			Механизм для укладки и подъема подводных кабелей			Максимальная глубина прокладки (м)	Возможности		
								Кабель		Усили-тели	Барабан прямой подачи (диаметр) (м)	Шкив размотки					
								Куб. метры (м <sup>3</sup> )	Вес (тонны)			Носовой блок (диаметр) (м)	Кормовой блок (диаметр) (м)				
<i>Vercors</i>	1974	10 670	133	7,3	16,5	13 000	3	2535	6000*	140	2 × 3,0 (30 т)	3,0	4,0 + линейный двигатель (18 пар колес)	На всех глубинах	Прокладка и ремонт всех типов телефонных (коаксиальных и волоконно-оптических) и силовых кабелей. Емкость: 3500 км глубоководных волоконно-оптических кабелей, 1300 морских миль однодюймового кабеля; 650 морских миль 1,5-дюймового кабеля; 500 морских миль 1,7-дюймового кабеля.		
<i>León Thévenin</i>	1983	6200	107	6,25	15,0	10 000	2	1060	1000	30	2 × 3,4 (40 т)	3,0	4,0 + линейный двигатель (18 пар колес)	На всех глубинах	Ремонтное судно, бронированные коаксиальные и волоконно-оптические кабели.		
<i>Raymond Croze</i>	1983	6200	107	6,25	15,0	10 000	2	1400	1300	70	2 × 3,4 (40 т)	3,0	4,0 + линейный двигатель (18 пар колес)	На всех глубинах	Прокладка/ремонт – приблизительно половина емкости судна <i>Vercors</i> . Примечание. – Суда <i>León Thévenin</i> и <i>Raymond Croze</i> идентичны, за исключением размещения кабельных отсеков.		

Раздел 1 – СУДА-КАБЕЛЕУКЛАДЧИКИ (продолжение)

Название судна	Год постройки	Водоизмещение (тонны)	Полная длина (м)	Осадка (м)	Нормальная скорость (узлы)	Дальность (автономного плавания) (морские мили)	Число кабельных отсеков	Грузовместимость			Механизм для укладки и подъема подводных кабелей		Максимальная глубина прокладки (м)	Возможности									
								Кабель		Усили-тели	Барабан прямой подачи (диаметр) (м)	Шкив размотки											
								Куб. метры (м <sup>3</sup> )	Вес (тонны)														
<b>ИТАЛИЯ</b>																							
<i>Суда, принадлежащие компании "Пирелли/Еврошипинг"</i>																							
<i>Arabella</i>	1975	2620	76,66	5,18	11	2000	2	1100	2000	–	–	–	3	На всех глубинах	Прокладка/ремонт								
<i>G. Verne</i>	1983	13 000	127,5	5,37	10	5000	3	5000	12 000	–	–	–	6	На всех глубинах	Работа только с кормы								
<b>ЯПОНИЯ</b>																							
<i>1. Судно, принадлежащее компании KDD</i>																							
<i>KDD Maru</i>	1967	6026	113,83	6,3	16	7000	3	1012	2700	70	3,6	3,0	Желоб 4,0	На всех глубинах	Прокладка и ремонт всех типов телефонных кабелей.								
<i>2. Суда, принадлежащие корпорации NTT</i>																							
<i>NTT Tsugaru Maru</i>	1969	1961	84,6	4,60	13,5	4000	1	320	650	50	3,3	2,5	1,8	5000	Прокладка и ремонт всех типов телефонных кабелей.								
<i>NTT Kuroshio Maru</i>	1974	3345	119,3	5,60	16,5	6883	3	887	1200	95	3,8	3,0	2,0	На всех глубинах	Прокладка с помощью линейного двигателя. Прокладка и ремонт всех типов телефонных кабелей.								
<i>NTT Setouchi Maru</i>	1979	819	64,8	3,50	12,0	3690	2	139	250	20	2,5	–	1,5	5000	Прокладка и ремонт всех типов телефонных кабелей.								
<i>NTT Koyo Maru</i>	1983	1295	74,0	43,50	13,5	4500	2	169	250	20	3,0	2,5	2,0	На всех глубинах	Прокладка с помощью линейного двигателя. Прокладка и ремонт всех типов телефонных кабелей (особенно оптических кабелей).								

## Раздел 1 – СУДА-КАБЕЛЕУКЛАДЧИКИ (продолжение)

Название судна	Год постройки	Водоизмещение (тонны)	Полная длина (м)	Осадка (м)	Нормальная скорость (узлы)	Дальность (автономного плавания) (морские мили)	Число кабельных отсеков	Грузовместимость			Механизм для укладки и подъема подводных кабелей		Максимальная глубина прокладки (м)	Возможности									
								Кабель		Усили-тели	Барабан прямой подачи (диаметр) (м)	Шкив размотки											
								Куб. метры (м <sup>3</sup> )	Вес (тонны)														
СОЕДИНЕННОЕ КОРОЛЕВСТВО																							
1. Суда, принадлежащие компании "Бритиш Телеком. лтд."																							
<i>Alert</i>	1961	9477	130	7,1	14	10 000	3	1509	3100	48	2,98	2,98	На всех глубинах	Прокладка с помощью линейного двигателя и работы на морском дне с помощью траншеекопателя. Прокладка и ремонт всех типов коаксиальных и волоконно-оптических кабелей.									
<i>Monarch</i>	1975	4639	97	5,5	14	7000	4	417	850	12	3,00	3,00	Отсутствует	На всех глубинах	Прокладка и ремонт бронированных коаксиальных и волоконно-оптических кабелей. Ремонт легких коаксиальных и волоконно-оптических кабелей. Раскопка и повторное закапывание с помощью подводного гидравлического устройства.								
<i>Iris</i>	1976	4639	97	5,5	14	7000	4	417	850	12	3,00	3,00	Отсутствует	На всех глубинах	Прокладка и ремонт бронированных коаксиальных и волоконно-оптических кабелей. Ремонт легких коаксиальных и волоконно-оптических кабелей.								
2. Суда, принадлежащие компании "Кейблз энд Уайлес лтд."																							
<i>Retreiver</i>	1961	5650	112	5,82	13	8000	3	629	1568	11	3,0	3,0	Желоб 3,05	На всех глубинах	Прокладка и ремонт бронированных кабелей. Ремонт легких кабелей.								
<i>Northern</i>	1962	3363	83,5	5,3	10	7200	3	480	1000	3	3,0	3,0	Отсутствует	3500	Работа только с носа, ремонтное судно.								

Примечание. – Прокладываются только относительно короткие кабели и только береговые кабели.

Раздел 1 – СУДА-КАБЕЛЕУКЛАДЧИКИ (окончание)

Название судна	Год постройки	Водоизмещение (тонны)	Полная длина (м)	Осадка (м)	Нормальная скорость (узлы)	Дальность (автономного плавания) (морские мили)	Число кабельных отсеков	Грузовместимость			Механизм для укладки и подъема подводных кабелей			Максимальная глубина прокладки (м)	Возможности		
								Кабель		Усили-тели	Барабан прямой подачи (диаметр) (м)	Шкив размотки					
								Куб. метры (м <sup>3</sup> )	Вес (тонны)			Носовой блок (диаметр) (м)	Кормовой блок (диаметр) (м)				
2. Суда, принадлежащие компании Кейблз энд Уайлес лтд. (продолжение)*																	
<i>Cable Venture</i>	1962	16 983	153	8,97	12,5	10 000	4 + 1 (резервный)	5086	9000	400	2,80	3,00	3,39	На всех глубинах	Прокладка с помощью линейного двигателя. Прокладка и ремонт бронированных и легких коаксиальных кабелей.		
<i>Mercury</i>	1962	11 683	144	7,5	14,5	8000	3	2970	3500	144	3,05	3,50	Желоб 3,05	На всех глубинах	То же		
<i>Cable Enterprise</i>	1964	5759	113	5,84	13	8000	3	887	2150	30	2,8	3,00	Желоб 3,05	На всех глубинах	Прокладка и ремонт бронированных кабелей. Ремонт легких кабелей. (См. примечание)		
<i>Cable Protector</i>	1976	4608	86	4,7	10,0	7200	2	1272	1060	Отсутствует	Отсутствует	Отсутствует	3,00	1000	Кабельный барабан диаметром 2,6 м на корме; судно рассчитано на небольшую толщу льда.		
<i>Pacific Guardian</i>	1984	7526	116	6,32	14,0	8000	3	1416	3470	96	3,5	3,00	3,00	На всех глубинах	Прокладка с помощью линейного двигателя. Прокладка и ремонт бронированных и легких коаксиальных кабелей.		
СОЕДИНЕННЫЕ ШТАТЫ АМЕРИКИ																	
Суда, принадлежащие компании AT & T																	
<i>Charlie Brown</i>	1952	2881	99,9	5,8	15	7000	3	660	2122	–	3,66	3,66	N/A	На всех глубинах	Ремонт всех типов телефонных кабелей. Прокладка коротких и береговых систем.		
<i>Long Lines</i>	1963	11 326	156	7,9	15	10 000	3	4420	7000	125	3,66	3,05	3,66	На всех глубинах	Прокладка и ремонт всех типов телефонных кабелей.		

N/A – нет данных.

Примечание. – Прокладываются только относительно короткие кабели и только береговые кабели.

## Раздел 2 – ОБОРУДОВАНИЕ ПОДВОДНЫХ СИСТЕМ ПЕРЕДАЧИ

Тип подводной системы	Водоизмещение (тонны)	Полная длина (м)	Ширина (м)	Высота (м)	Система рытья траншей	Рытье траншей	Продвижение	Максимальная глубина прокладки (м)	Возможности
<b>ФРАНЦИЯ</b>									
<i>Подводная система траншеекопателя</i>	23	9,06	3	2,90	Лемех	Немедленное закапывание кабеля (до 0,7 м) с помощью траншеекопателя	Буксировка судном	950	Прокладка и закапывание кабелей и малых кабелепроводов.
<i>Самодвижущаяся закапывающая система</i>	11,3	5,50	2,45	3,50	Колесо или цепь, роющие траншею	Закапывание существующих кабелей на глубину 2 м	Гусеничный автомобиль	150	Закапывание кабелей и кабелепроводов.
<b>ЯПОНИЯ</b>									
<i>1. Подводные системы, принадлежащие компании KDD</i>									
<i>Траншеекопатель для кабеля KS-2</i>	9,3	11,2	2,56	2,0	–	Немедленное закапывание кабеля с помощью траншеекопателя	Буксировка судном	200	Одновременная прокладка и закапывание кабеля.
<i>Гусеничный трактор</i>	4,7	4,0	3,0	2,15	Гидромонитор ожигания	Гидромонитор ожигания	Гусеничная передача	200	Траншея для существующего кабеля.
<i>Гусеничный трактор-2500</i>	3,6	2,65	1,8	1,9	Гидромонитор ожигания	Гидромонитор ожигания	Два вертикальных и четыре горизонтальных гидравлических домкрата	2500	Закапывание после прокладки, техническое обслуживание кабеля и наблюдение за морским дном.
<i>2. Подводные системы, принадлежащие корпорации NTT</i>									
<i>Система закапывания подводного кабеля типа траншеекопателя "Mark IV"</i>	16,8	8,4	4,0	4,0	–	Одновременные прокладка и закапывание кабеля и кабелепровода до 1,5 м, обеспечивающие полную защиту.	Буксировка судном	500	Одновременное закапывание кабеля или закапывание кабеля после его прокладки.
<i>Самодвижущаяся закапывающая система</i>	3,5	3,4	2,3	1,8	Гидромониторы ожигания и выемки грунта и землесос	Глубиной до 1,5 м с помощью гидромониторов ожигания и выемки грунта	Самодвижение под воздействием водяных струй	40	Траншея для существующего кабеля.

Раздел 2 – ОБОРУДОВАНИЕ ПОДВОДНЫХ СИСТЕМ ПЕРЕДАЧИ (продолжение)

Тип подводной системы	Водоизмещение (тонны)	Полная длина (м)	Ширина (м)	Высота (м)	Система рытья траншей	Рытье траншей	Продвижение	Максимальная глубина прокладки (м)	Возможности
<b>СОЕДИНЕННОЕ КОРОЛЕВСТВО</b>									
<i>1. Суда, принадлежащие компании "Бритиш Телеком лтд."</i>									
<i>Подводный траншеекопатель</i>	17,0	6,6	4	3,4	Гидромониторы ожигания и выемки грунта и землесос	Глубиной до 1 м с помощью гидромониторов ожигания и выемки грунта	Три вертикальных и четыре горизонтальных гидравлических домкрата, управление гусеничным ходом	274	Траншея для существующих кабеля и кабелепровода.
<i>Подводная система траншеекопателя</i>	9,75	6,1	2,6	2,6	Лемех, перед которым установлен диск	Немедленное закапывание кабеля с помощью траншеекопателя	Буксировка судном	900	Одновременные прокладка и закапывание кабеля и кабелепровода, обеспечивающие полную защиту.
<i>Модульная система траншеекопателя</i>	40	14	6	4,5	Лемех, перед которым установлен диск	Немедленное закапывание кабеля с помощью траншеекопателя	Буксировка судном	350	Одновременные прокладка и закапывание кабеля или закапывание кабелепровода после прокладки.
<i>2. Подводные системы, принадлежащие компании "Кейблз энд Уайлес лтд."</i>									
<i>Подводная система с дистанционным управлением</i>	3,2	3,5	2,1	2,3	Водяные струи	Емкость ковша 0,3 м	Гидравлические домкраты (7)	1000	Визуальное наблюдение за кабелем/проверка/вскрытие. Управление.
<i>Траншеекопатель для морского дна CWM</i>	12,0	7,2	4,0	2,5	Пассивное лезвие	Емкость ковша 0,9 м	Буксировка	1000	Возможность регулирования, засыпки траншеи, частичного закапывания усилителей.

## Раздел 2 – ОБОРУДОВАНИЕ ПОДВОДНЫХ СИСТЕМ ПЕРЕДАЧИ (окончание)

Тип подводной системы	Водоизменение (тонны)	Полная длина (м)	Ширина (м)	Высота (м)	Система рыва траншей	Рытье траншей	Продвижение	Максимальная глубина прокладки (м)	Возможности
СОЕДИНЕННЫЕ ШТАТЫ АМЕРИКИ									
<i>Траншеекопатель IV A для морского дна</i>	–	–	–	–	–	–	–	–	Траншее шириной 16 дюймов и максимальной глубиной 24 дюйма
<i>Траншеекопатель V для морского дна</i>	–	–	–	–	–	–	–	–	То же
<i>Система захвата кабеля I/II</i>	–	–	–	–	–	–	–	–	Используется несколькими владельцами для целей технического обслуживания

**Дополнение № 14**

**МЕТОДЫ ИЗМЕРЕНИЯ РАВНОМЕРНОСТИ ЗАТУХАНИЯ ОТРАЖЕНИЯ**

*(следует обратиться к Рекомендации G.623;  
настоящее дополнение можно найти на стр. 669 выпуска III.3  
Оранжевой книги, Женева, 1977 г.)*

**Дополнение № 18**

**ИНФОРМАЦИЯ О ГЛУБОКОВОДНЫХ КАБЕЛЯХ**

*(следует обратиться к подразделу 6.3;  
настоящее дополнение можно найти на стр. 313 выпуска III.2  
Красной книги, Женева, 1985 г.)*

**Дополнение № 19**

**ЦИФРОВОЙ МЕТОД ИЗМЕРЕНИЯ ПЕРЕХОДНЫХ ВЛИЯНИЙ (МЕТОД, ИСПОЛЬЗУЕМЫЙ  
АДМИНИСТРАЦИЯМИ ИСПАНИИ, НИДЕРЛАНДОВ И ФРАНЦИИ)**

*(следует обратиться к Рекомендации G.612;  
настоящее дополнение можно найти на стр. 326 выпуска III.2  
Красной книги, Женева, 1985 г.)*

**Дополнение № 33**

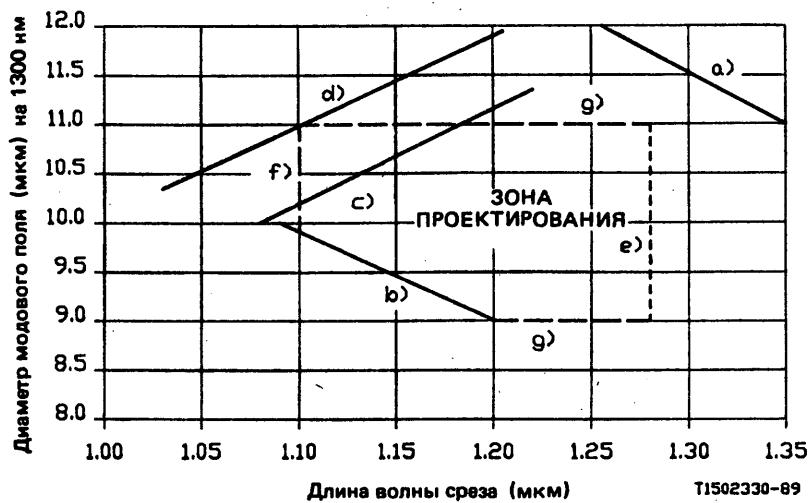
**ПРИМЕРЫ УКАЗАНИЙ ПО ПРОЕКТИРОВАНИЮ ВОЛОКНА**

*(Схемы, используемые в Соединенном Королевстве и в Японии)  
(относятся к Рекомендациям G.652 и G.654)*

В приведенных ниже двух диаграммах представлены характеристики двух конкретных типов волокна. Эти диаграммы имеют целью дать указания для потенциальных потребителей по составлению технических требований на оптические волокна.

На рис. 1, который используется в Японии и Соединенном Королевстве, представлены эмпирически полученные соотношения между диаметром модового поля и длиной волны среза, с одной стороны, как независимые переменные и показатели потерь на изгибе на волне 1550 нм и коэффициенты хроматической дисперсии на 1285 и 1330 нм, с другой стороны, для одномодового волокна с согласованной оболочкой, соответствующего Рекомендации G.652. Описаны два типа измерений потерь на изгибе на волне 1550 нм: измерение, описанное в Рекомендации G.652 (радиус изгиба 37,5 мм, 100 витков, максимальное затухание 1,0 дБ), и измерение, наиболее часто выполняемое в Соединенном Королевстве (катушка с радиусом 30 мм, 10 витков, максимальное затухание 0,2 дБ).

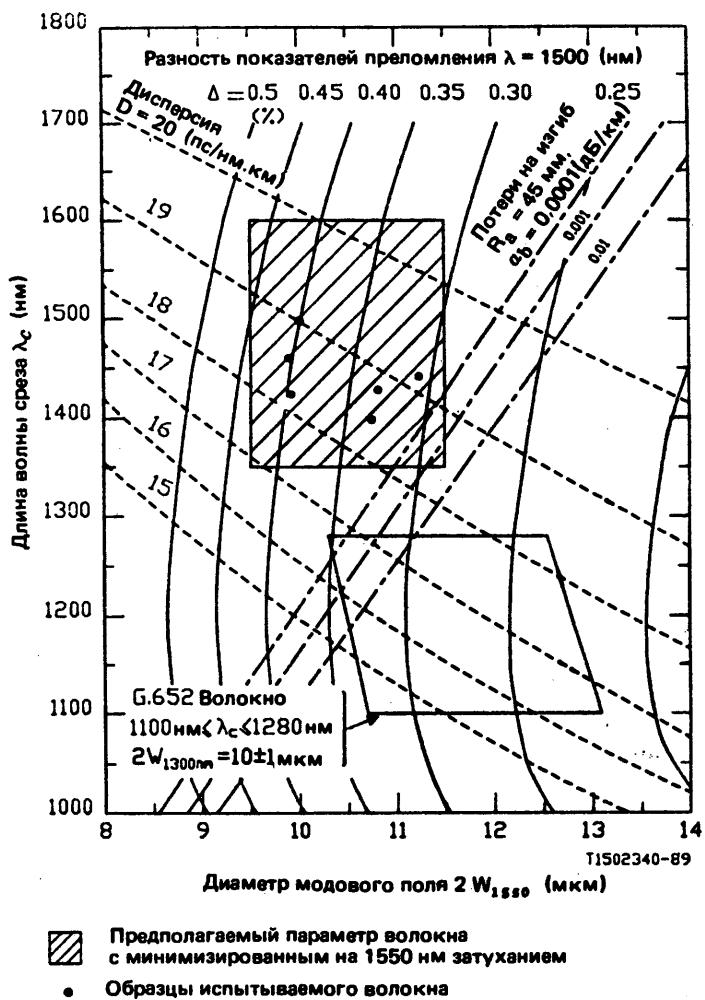
На рис. 2, который используется компанией KDD, Япония, представлены соотношения между диаметром модового поля и длиной волны среза, с одной стороны, и теоретическими показателями потерь на изгиб на волне 1550 нм и различными коэффициентами хроматической дисперсии — с другой. Эта информация относится к одномодовому волокну с согласованной оболочкой, соответствующему Рекомендации G.654.



- a) Коэффициент дисперсии +3,5 пс/нм·км на 1330 нм.
- b) Коэффициент дисперсии -3,5 пс/нм·км на 1285 нм.
- c) Потери на изгиб 0,2 дБ на 1550 нм на катушке радиусом 30 мм, 10 витков.
- d) Потери на изгиб 1,0 дБ на 1550 нм при радиусе изгиба 37,5 мм, 100 витков.
- e) Верхний предел длины волны среза  $\lambda_c$  (1280 нм).
- f) Нижний предел длины волны среза  $\lambda_c$  (1100 нм).
- g) Предельные значения Рек. G.652 для диаметра модового поля ( $10 \pm 1$  мкм).

РИСУНОК 1

Указания по проектированию одномодовых волокон с согласованным покрытием  
(Рек. G.652)



Кривые равного затухания на изгиб  $a_b$ , дисперсии  $D$  и показателя преломления  $\Delta$  на волне 1550 нм, как параметры диаметра модового поля  $2 W$  и длины волны среза  $\lambda_c$ .

*Примечание.* — Диаметр модового поля на 1300 нм ( $2 W_{1300 \text{ нм}} = 10 \pm 1 \text{ мкм}$ ) приблизительно соответствует диаметру модового поля  $2 W_{1550 \text{ нм}}$  на 1550 нм между 10,5 мкм и 13 мкм, как показано на рис. 2.

РИСУНОК 2

Указания по проектированию одномодового волокна с минимизированным на 1550 нм затуханием  
(Рек. G.654)

**Printed in USSR • 1992 — ISBN 92-61-03334-2**