

**Открытое Акционерное Общество "ССКТБ-ТОМАСС"**

Утверждаю  
Генеральный директор  
ОАО "ССКТБ-ТОМАСС"



С.П. Шашлов  
01 . 2007 г.

**ТЕХНИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ**

**по применению оптических волокон фирмы "Fujikura" на  
волоконно-оптических сетях связи Российской Федерации**

**Москва  
2007 г**

## АННОТАЦИЯ

Технические рекомендации определяют место оптическим волокнам фирмы "Fujikura" на российских волоконно-оптических сетях связи и позволяют правильно и с максимальной эффективностью использовать эти волокна на различных сегментах сетей связи.

Оптические волокна фирмы "Fujikura" относятся к лучшим мировым образцам данного вида продукции. Рекомендации определяют возможности использования оптических волокон "Fujikura" на волоконно-оптических сетях связи совместно с волокнами фирм "Corning" и "ofs".

Технические рекомендации позволяют выбирать по включенным в текст таблицам оптимальный тип волокна в зависимости от назначения сети и перспектив ее модернизации.

Технические рекомендации позволяют рассчитывать и учитывать при определении бюджета мощности различные виды нелинейных эффектов.

В технические рекомендации включены рекомендации по выбору и использованию оборудования для сварок оптических волокон фирмы "Fujikura".

## СОДЕРЖАНИЕ

Стр.

	Аннотация.....	2
1.	Области применения.....	4
2.	Нормативно-технические ссылки.....	9
3.	Факторы, оказывающие влияние на выбор оптических волокон.....	9
3.1.	Внешние факторы.....	20
3.2.	Внутренние факторы.....	23
4.	Рекомендации по результатам теоретических и экспериментальных исследований ОВ фирмы "Fujikura"...	23
4.1.	Рекомендации по результатам оценки измерений затухания..	23
4.2.	Рекомендации по результатам анализа измерений хроматической дисперсии (ХД).....	24
4.3.	Рекомендации по учету результатов измерений поляризационно-модовой дисперсии (ПМД).....	25
4.4.	Оценка температурной зависимости ХД и ПМД.....	25
4.5.	Рекомендации по результатам оценки измерений нелинейных эффектов ВКР, ВРМБ, ЧВС, МН, ФСМ, ФКМ, рэлеевского отражения в зависимости от мощности сигнала и его спектральной ширины.....	26
4.6.	Оценка результатов сварок оптических волокон фирмы "Fujikura" с волокнами других фирм.....	30
4.7.	Рекомендации по расчету бюджета мощности ЭКУ ВОЛС с учетом перспективных модернизаций систем передачи.....	31
5.	Рекомендации по применению оптических волокон фирмы "Fujikura" на ВОЛП Российской Федерации.....	32
5.1.	Рекомендации по применению ОВ "Fujikura" на магистральных, междугородных ВОЛП.....	32
5.2.	Рекомендации по применению ОВ " Fujikura" на местных сетях.....	33
5.3.	Рекомендации по применению оборудования для сварки волокон фирмы "Fujikura" .....	33
5.4.	Опыт применения оптических волокон фирмы "Fujikura" на волоконно-оптических сетях связи России.....	35
6.	Список литературы.....	37

## 1. Области применения

1.1. Оптические волокна (ОВ) фирмы "Fujikura" (Япония) применяются для изготовления волоконно-оптических кабелей (ВОК), предназначенных для всех типов волоконно-оптических линий передачи (ВОЛП) первичных сетей связи, а именно на Единой сети связи (ЕСС) России, на ВОЛП ведомственной и технологической связи, местных, локальных, внутрипроизводственных, структурированных волоконно-оптических сетях связи.

### 1.2. Построение первичных сетей связи

#### 1.2.1. Основные определения

1.2.1.1. Первичная сеть общего использования (ОП) ЕСС России по территориальному признаку подразделяется на магистральную, внутризоновые и первичные сети. Магистральная первичная сеть общего пользования (СМП) обеспечивает соединения разных внутризоновых первичных сетей ОП на всей территории РФ. Линии передачи СМП называются магистральными.

1.2.1.2. Внутризоновая первичная сеть ОП (ВзПС) обеспечивает соединения разных местных первичных сетей ОП одной зоны нумерации. Линии передачи ВзПС называются внутризоновыми.

1.2.1.3. Волоконно-оптические линии передачи, соединяющие отдалённые города внутри зоны, а также города соседних зон, называются междугородными ВОЛП.

1.2.1.4. ВОЛП, соединяющие сетевые узлы (СУ) и сетевые станции (СС), называются соединительными ВОЛП.

1.2.1.5. На магистральных волоконно-оптических линиях и на протяжённых междугородных и соединительных линиях могут устанавливаться регенерационные пункты, а участки линии передачи между ними называются элементарными кабельными участками (ЭКУ).

1.2.1.6. ВОЛП, соединяющие береговые станции (узлы связи) по дну морей, называются подводными ВОЛП. В настоящее время в РФ не строятся подводные линии с подводными регенераторами: длина подводных линий ограничивается максимальной длиной регенерационного участка.

1.2.1.7. Местная первичная сеть ОП (МСП) ограничена территорией сельского района или города с пригородами. Линии передачи МСП называются местными.

1.2.1.8. Первичные сети ограниченного применения, к которым относятся ведомственные, технологические, производственные сети, могут содержать магистральные, соединительные, внутрипроизводственные ВОЛП.

1.2.1.9. Транспортные ВОЛП первичных сетей ограниченного применения называются магистральными линиями этих сетей.

1.2.1.10. Волоконно-оптические линии передачи первичных сетей ограниченного применения, соединяющие узлы связи этих сетей, называются волоконно-оптическими соединительными линиями первичных сетей ограниченного применения.

1.2.1.11. Линии передачи первичных сетей ограниченного применения, образующие связи внутри предприятий, учреждений, называются внутрипроизводственными линиями этих сетей.

1.2.1.12. Волоконно-оптические линии сетей доступа абонентов называются линиями передачи оптических сетей доступа (ОСД).

1.2.1.13. Волоконно-оптические сети доступа, на всех сегментах которых не используется активная аппаратура, называются пассивными оптическими сетями (PON-ПОС).

1.2.1.14. Пассивной оптической сетью А-PON-ПОС называется ПОС, использующая протокол АТМ со скоростями передачи 155 и 622 Мбит/с.

1.2.1.15. Пассивной оптической сетью В-PON-ПОС называется ПОС, предоставляющая расширенные возможности А-PON за счет использования дополнительных длин волн.

1.2.1.16. Пассивной оптической сетью G-PON-ПОС называется ПОС, позволяющая расширить возможности А-PON за счет увеличения скорости передачи до 2,5 Гбит/с.

1.2.1.17. Пассивной оптической сетью С-PON-ПОС называется ПОС, ориентированная на протокол Ethernet.

1.2.1.18. На ПОС рекомендуется использовать рабочие диапазоны длин волн в области 1310 нм в пределах от 1200-1260 до 1380 нм и в области 1550 нм в пределах 1480-1580 нм.

1.2.1.19. Оптические сети на полностью оптическом транспортном уровне называются фотонными сетями. Эти сети обеспечивают возможности модульного расширения до очень больших конфигураций в технических решениях и по программным средствам.

1.2.1.20. Волоконно-оптические линии передачи на основе оптических кабелей, подвешенных на опорах воздушных линий электропередачи (ЛЭП), называются волоконно-оптическими линиями передачи на воздушных линиях ЛЭП - ВОЛП-ВЛ. ВОЛП-ВЛ могут быть построены на основе:

- волоконно-оптических кабелей в грозотросе ОКГТ, подвешиваемых на ЛЭП вместо обычного грозотроса;
- самонесущих волоконно-оптических кабелей с центральным, либо силовым несущим элементом;
- навивных (на фазный провод или грозотрос) полностью диэлектрических оптических кабелей.

1.2.1.21. Волоконно-оптические линии передачи на основе оптических кабелей, подвешиваемых на опорах контактной сети электрифицированных железных дорог, называются волоконно-оптическими линиями на контактной сети железных дорог - ВОЛП-КС.

#### 1.2.2. Параметры первичных сетей связи

Параметры - протяжённость и максимальная полоса пропускания (широкополосность) участков первичных сетей связи приведены в таблице 1.2.

Таблица 1.2

**Параметры участков первичных сетей связи**

№№ п/п	Наименование участка	Максимальная протяженность		Максимальная требуемая широкополосность		Прогнозируемая замена аппаратуры (и её параметры) в ближайшие 10-15 лет
		в настоящее время	прогнозируемая на 10 лет	в настоящее время	прогнозируемая на 10 лет	
1	Элементарный кабельный участок магистральной сети (ЭКУ-МС) ОП	150 км	300 км (с ОУ)	2,5 Гбит/с DWDM (8x2,5 Гбит/с)	10 Гбит/с DWDM (16x10 Гбит/с)	40 Гбит/с DWDM (40x10 Гбит/с)
2	Подводные ВОЛП (без регенераторов)	150 км	400-600 км (с ОУ)	2,5 Гбит/с	40 Гбит/с DWDM-8x10 Гбит/с (40x40 Гбит/с)	
3	ЭКУ зонных сетей	120 км	200 км	2,5 Гбит/с	10 Гбит/с DWDM (8x2,5 Гбит/с)	40 Гбит/с DWDM (20x10 Гбит/с)
4	ЭКУ магистральной сети ограниченного применения	120 км	300 км (с ОУ)	2,5 Гбит/с	10 Гбит/с DWDM	CWDM DWDM (40x10)

					(8x2,5 Гбит/с)	Гбит/с)
5	Линии передачи городских сетей	10 км	40 км	2,5 Гбит/с DWDM (8x2,5 Гбит/с)	10 Гбит/с DWDM (40x2,5 Гбит/с)	40 Гбит/с DWDM (40x10 Гбит/с)
6	Линии передачи сельских сетей	50 км	100 км	155 Мбит/с	2,5 Гбит/с	CWDM
7	Линии передачи внутрипроизводственных сетей	5 км	10 км	155 Мбит/с	2,5 Гбит/с	CWDM
8	Магистральные линии сетей широкополосного доступа	10 км	50 км	2,5 Гбит/с	10 Гбит/с	DWDM
9	Абонентские линии сетей широкополосного доступа	2 км	10 км	155 Мбит/с	2,5 Гбит/с	CWDM
10	Магистральные линии сетей кабельного телевидения	20 км	40 км	2,5 Гбит/с	10 Гбит/с	40 Гбит/с
11	Абонентские линии сетей кабельного телевидения	5 км	15 км	622 Мбит/с	2,5 Гбит/с	10 Гбит/с

## 2. Нормативно-технические ссылки

Настоящие технические рекомендации разработаны с учётом выполнения следующих технических документов:

2.1. Рекомендаций Сектора стандартизации Международного Союза Электросвязи (МСЭ-Т): G.650, G.651, G.652, G.653, G.654, G.655, G.656, G.701, G.709, G.872, G.959, G.982, G.983, G.984.

2.2. Стандартов Международной электротехнической комиссии (МЭК): 802.3.

2.3. Спецификаций на оптические волокна и оборудование для сварки оптических волокон фирмы "Fujikura".

2.4. "Правил применения оптических кабелей связи, пассивных оптических устройств и устройств для сварки оптических волокон", утвержденных Мининформсвязи РФ 19.04.06.

## 3. Факторы, оказывающие влияние на выбор оптических волокон

### 3.1. Внешние факторы

3.1.1. Дальность передачи и широкополосность систем передачи, устанавливаемых на волоконно-оптических линиях передачи (ВОЛП), являются основными внешними факторами, оказывающим влияние на выбор оптических волокон для кабелей на данных ВОЛП.

3.1.2. Классификация волоконно-оптических линий передачи по их протяжённости и назначению представлена в таблице 3.1.1.

Таблица 3.1.1

№№ пп	Тип линии передачи	Назначение	Максимальная протяженность
1	Магистральные	Транзитные ВОЛП, Трансроссийские ВОЛП Соединение узлов связи зональных сетей	12,5 тыс. км 12,5 тыс. км до 1,0 тыс. км
2	Междугородные	Соединение городов соседних зон и отдаленных городов внутри зон	до 600 км
3	Внутризональные	Соединения городов и крупных населенных пунктов внутри одной зоны	до 120 км
4	Местные: городские	Линии связи городских сетей	до 40 км

	сельские	Линии связи сельских сетей	до 50 км
5	Линии связи сетей доступа	Присоединительные линии к абонентским узлам	до 5 км
6.	Внутриобъекто-вые	Соединительные и разветвительные линии внутри предприятий зданий, учреждений	до 2 км

3.1.3. Для магистральных и междугородных линий передачи в РФ в настоящее время устанавливается аппаратура синхронных цифровых систем передачи со следующими характеристиками скорости передачи:

STM-1 - 155 Мбит/с;

STM-4 - 622 Мбит/с;

STM-16 - 2,5 Гбит/с.

Планируется применение на сетях РФ системы передачи

STM-64 - 10 Гбит/с.

Дальнейшее увеличение широкополосности систем передачи осуществляется за счет применения систем передачи со спектральным уплотнением:

CWDM - с грубым спектральным уплотнением (на длинах волн 0,85; 1,31 и 1,55 мкм);

DWDM - с плотным спектральным уплотнением (до 40 систем STM-64 на длинах волн вблизи 1,55 мкм);

HDWDM - со сверхплотным спектральным уплотнением.

3.1.4. На городских сетях связи РФ нашли применение системы передачи:

STM-1 - 155 Мбит/с;

STM-4 - 622 Мбит/с;

ATM - до 622 Мбит/с;

STM-16 - 2,5 Гбит/с

а также DWDM - до 40 систем STM-16.

3.1.5. На сетях широкополосного доступа находят применение системы:

Ethernet - 10 Мбит/с

Fast Ethernet - 100 Мбит/с

Giga Ethernet - 2,5 Гбит/с.

3.1.6. Используя градацию одноканальных интерфейсов оптической транспортной сети в соответствии с рекомендациями МСЭ-Т G.701, G.872, G.959.1, градации волоконно-оптических линий передачи с различными системами передачи представляются в виде таблицы, в которой увязаны параметры линий передачи и параметры устанавливаемых на них систем передачи.

3.1.7. Для разработки таблицы градаций ВОЛП используются следующие положения рекомендаций МСЭ-Т:

3.1.7.1. По типу соединяемых линий интерфейсы оптической транспортной сети различаются на:

- интерфейсы для длинных линий без линейных усилителей;
- интерфейсы для коротких линий;
- внутриофисные интерфейсы.

3.1.7.2. При постепенном формировании оптической транспортной сети из обычной транспортной сети введено понятие пред-ОТС (pre-OTN). При такой эволюции ОТС сначала формируются острова ОТС, использующие технологии плезиохронных (ПЦИ) и синхронных (СЦИ) цифровых иерархий, взаимодействующие через упрощенный тип интерфейса пред-ОТС.

3.1.7.3. Для одноканальных интерфейсов установлены следующие параметры для каждого направления передачи:

- скорости передачи в канале, соответствующие 2,5; 10 и 40 Гбит/с;
- длины участков для внутриофисных интерфейсов, интерфейсов для коротких линий и интерфейсов для длинных линий.

3.1.7.4. Для многоканальных интерфейсов устанавливаются следующие параметры:

- число каналов - до 16;
- центральные частоты в соответствии с сеткой по рекомендации МСЭ-Т G.692;
- скорости передачи в каждом канале - 2,5; 10; 40 Гбит/с;
- длины участков для внутриофисных, коротких (40 км) и длинных без линейных усилителей (80 км) линий;
- передача - однонаправленная;
- конфигурация - "точка-точка".

3.1.7.5. Идентификация интерфейсов ОТС производится с помощью кодов применения. Код применения представляет собой последовательность буквенных и цифровых символов, идентифицирующих сеть, исполнение и архитектурные характеристики применения:

**PnWx-ytz** , где:

P - определяет степень формирования ОТС (пред-ОТС -

наличие символа P);

n - максимальное количество спектральных каналов;

W - символ, указывающий длину и затухание участка. W может принимать значения VSR, I, S, L, V, где:

VSR - очень короткая линия (затухание подлежит дальнейшему изучению);

I - внутриофисное соединение (затухание до 7 дБ);

S - короткая длина (затухание до 11 дБ);

L - большая длина (затухание до 22 дБ);  
V - очень большая длина (затухание до 33 дБ);  
x - максимальное число элементарных участков (пролётов);  
y - наивысший ранг оптического компонентного сигнала (скорость передачи):

1 - 2,5 Гбит/с в коде "без возврата к нулю" (NRZ);

2 - 10 Гбит/с в коде NRZ;

3 - 40 Гбит/с (тип кода подлежит изучению).

t - символ, определяющий наличие и тип усилителей, может принимать значения A, B, C, D:

A - один оптический усилитель (ОА), используемый как усилитель мощности (бустер) в начальном оптическом сетевом элементе (ОСЭ), т.е. на передаче, и второй ОА, используемый как предусилитель в конечном ОСЭ, т.е. на приёме;

B - используется только бустер;

C - используется только предусилитель;

D - усилители не используются;

z - длина волны источника излучения и тип волокна может принимать условные цифровые значения 1, 2, 3 и 5:

1 - номинально 1310 нм на волокне G.652;

2 - номинально 1550 нм на волокне G.652;

3 - номинально 1550 нм на волокне G.653;

5 - номинально 1550 нм на волокне G.655.

В настоящее время определены параметры только однопролётных интерфейсов, т.е.  $x = 1$ . Параметры интерфейсов для  $x < 1$  подлежат изучению.

Двунаправленная система (bidirectional) может быть обозначена добавлением символа B в начале записи кода BnWx-utz.

В случае одноканальной передачи для некоторых кодов применения добавляется особый суффикс. Эти суффиксы определены следующим образом:

г - определяет уменьшенную протяженность участка вследствие ограничения длины по дисперсии;

а - показывает, что уровень мощности передатчиков соответствует приёмникам на лавинном фотодиоде (APD);

б - показывает, что уровень мощности передатчиков соответствует приёмникам на PIN-диоде.

В будущем количество вариантов записей кодов применения придется расширить, когда потребуется идентифицировать альтернативные варианты архитектуры и реализации.

3.1.8. Используя указанные для интерфейсов обозначения в применении к ВОЛП для их идентификации, наиболее распространенные варианты ВОЛП систематизированы в таблице 3.1.2.

Таблица 3.1.2.

Запись кодами применения	ВОЛП	Максима льное к- во каналов	Максимальн ое затухание участка, дБ	Максимальн ое кол- во ЭКУ (пролётов )	Наивысший ранг компонентн ого сигнала	Тип оптического сетевоег о сетевоег элемента	Тип ОВ (рабочая длина волны, нм)	ОВ по спецификац ии фирмы "Fujikura" Future- Guide
1		2	3	4	5	6	7	8
<b>Магистральные</b>								
P40V7-2B5		40	33	7	10 Гбит/с	бустер	G.655, (1,55)	ULA
P20V4-1D2		20	33	4	2,5 Гбит/с	-	G.652 (1,55)	SM
P1V5-2B5		1	33	5	10 Гбит/с	бустер	G.655 (1,55)	ULA
P1V8-1D2		1	33	8	2,5 Гбит/с	-	G.652 (1,55)	SM
<b>Междугородные</b>								
P40L1-1B5		40	22	1	2,5 Гбит/с	бустер	G.655 (1,55)	LA
P10L1-2D2		10	22	1	10 Гбит/с	-	G.652 (1,55)	SM
P1L1-2B2		1	22	1	10 Гбит/с	бустер	G.652 (1,55)	LWP

P1L1-1B2	1	22	1	2,5 Гбит/с	-	G.652 (1,55)	SM
<b>Внутризоновые</b>							
P20L1-1D2	20	22	1	2,5 Гбит/с	-	G/652 (1,55)	SM
P1S1-2D2	1	11	1	10 Гбит/с	-	G.652 (1,55)	LWP
<b>Городские</b>							
P40S1-1D5	40	11	1	2,5 Гбит/с	-	G.655 (1,55)	USS
P2S1-1D(1+2)	2	11	1	2,5 Гбит/с	-	G.652 (1,55 и 1,31)	LWP
P1S1-2D2	1	11	1	10 Гбит/с	-	G.652 (1,55)	SS
P1S1- 1D2	1	11	1	2,5 Гбит/с	-	G.652 (1,55)	LWP
<b>Сельские</b>							
P1L1-1D2	1	22	1	155 Мбит/с	-	G.652 (1,55)	SM
P1S1-2D2	1	11	1	622 Мбит/с	-	G.652 (1,55)	SM
<b>Широкополосного доступа</b>							
P40I1-1D5	40	7	1	2,5 Гбит/с	-	G.655 (1,55)	SS

P8S1-1D2	8	11	1	2,5 Гбит/с	-	G.655 (1,55)	USS
P2I1-1D(1+2)	2	7	1	155 Мбит/с	-	G.652 (1,55 и 1,31)	SM
P1S1-1D2	1	11	1	2,5 Гбит/с	-	G.652 (1,55)	SR15E
P1I1-1D2	1	7	1	2,5 Гбит/с	-	G.652 (1,55)	SM
P1I1-1D2	1	7	1	622 Мбит/с	-	G.652 (1,55)	SM
<b>Внутриобъектовые</b>							
P1I1-1D2	1	7	1	622 Мбит/с	-	G.652 (1,55)	SM
P1I1-1D2	2	7	1	155 Мбит/с		G.652 (1,55 и 1,31)	SR15

Обозначение ВОЛП: PnWx-ytz , где

P - пред-ОТС; - ОТС

n - максимальное количество спектральных каналов;

W - означает длину и затухание участка: в т.ч. VSR- очень короткая линия,

I - внутриофисное соединение (до 7 дБ)

S - короткая длина (до 11 дБ)

L - большая длина (до 22 дБ)

V - очень большая длина (до 33 дБ)  
x - максимальное число ЭКУ (пролётов);  
y - наивысший ранг оптического компонентного сигнала:  
1 - 2,5 Гбит/с; 2 - 10 Гбит/с; 3 - 40 Гбит/с.  
t - наличие усилителей:  
A - один ОУ;  
B - только бустер;  
C только предусилитель;  
D - нет усилителей;  
z - длина волны источника излучения:  
1 - 1,31 нм на волокне G.652;  
2 - 1,55 нм на волокне G.652;  
3 - 1,55 нм на волокне G.653;  
4 - 1,55 нм на волокне G.655.

3.1.9. **Перспективы модернизации** систем передачи определяются на основании эмпирического закона Мура, согласно которому объём передаваемой информации увеличивается каждые 10 лет в 10 раз. Исходя из этого закона на телекоммуникационных линиях предусматривается возможность хотя бы одной замены оборудования системы передачи на следующее поколение системы передачи с пропускной способностью как минимум в 10 раз большей первоначально установленной. При строительстве новых волоконно-оптических линий передачи должны использоваться такие кабели и средства их соединения, которые позволяли бы организовывать передачу информационных потоков по оптическим волокнам в 10-100 раз большей ёмкости, чем первоначально проектируемой. На практике это означает, что при первичном выборе типов волокон в таблице 3.1.2 следует выбирать варианты установки систем передачи с пропускной способностью в 10-100 раз большей, чем установлено проектом. Это условие обязательно для магистральных, междугородных и внутризоновых ВОЛП. В таблице 3.1.3 представлены типовые рекомендуемые варианты выбора ВОЛП при заданных проектных решениях.

Таблица 3.1.3

**Рекомендуемые варианты выбора ВОЛП при заданных проектных решениях с учётом перспективных модернизаций**

<b>Код применения ВОЛП согласно проекта</b>	<b>Код применения ВОЛП, рекомендуемый с учётом перспективных модернизаций</b>	<b>ОВ фирмы "Fujikura" Future-Guide</b>
<b><u>Магистральные</u></b> P1V5 - 2B5 P1V8 - 1D2	P40V5 - 2B5 P20V8 - 1B5	ULA LA
<b><u>Междугородные</u></b> P1OL1 - 2D2 P1L1 - 1B2	P80L1 - 2B5 P40L1 - 1B2	ULA LA
<b><u>Внутризоновые</u></b> P20L1 - 1D2 P1S1 - 2D2	P80L1 - 1B5 P20S1 - 2B5	ULA LA
<b><u>Городские</u></b> P2S1 - 1D(1+2) P1S1 - 2D2	P80S1 - 1D5 P40S1 - 1D2	USS SS

3.1.10. **Надежность оптических волокон** в составе оптических кабелей должна быть такой, чтобы был обеспечен срок службы кабелей не менее 25 лет.

Главными параметрами надёжности оптических волокон, обеспечивающими данный срок службы, являются:

- гарантированная прочность при перемотке волокон (proof-test). Этот параметр должен быть не ниже 0,7 ГПа (100 kpsi).

**Для всех волокон фирмы "Fujikura" он выполняется.**

- прирост затухания при макроизгибах не должен превышать следующих значений (для волокон G.652C,D; G.655; G.656):

- 1 виток, 32 мм в диаметре - не более 0,5 дБ/км на длине волны 1,55 мкм
- 100 витков, 60 мм в диаметре - не более 0,05 дБ/км на длины волны 1,55 мкм.

**Для волокон фирмы "Fujikura" это требование выполняется.**

- средняя прочность на разрыв образцов длиной 0,5 м, не подвергавшихся старению. Этот параметр должен быть не менее 3,8 ГПа (550 kpsi).

**Для всех волокон фирмы "Fujikura" этот параметр выполняется.**

- усилие для снятия двухслойного покрытия. Этот параметр должен находиться в пределах  $\geq 1,3Н - < 8,9 Н$ .

**Для волокон фирмы "Fujikura" он выполняется.**

- сила адгезии покрытия к поверхности кварцевой оболочки. Этот параметр должен находиться в пределах  $>6,2Н - < 22,2Н$ .

**Для волокон фирмы "Fujikura" он выполняется.**

- зависимость затухания от температуры. Прирост затухания при изменении температуры от  $-60^{\circ}C$  до  $85^{\circ}C$  для волокон G.652C,D; G.655 на длине волны 1,55 мкм не должен быть более 0,05 дБ/км.

**Для волокон G.652 C,D; G.655 фирмы "Fujikura" это требование выполняется.**

- прирост затухания при циклических (число циклов - 30) изменениях температуры (от  $-10^{\circ}C$  до  $+ 85^{\circ}C$ ) и влажности (до 95%). Для волокон G.652C,D; G.655 этот параметр должен быть не более 0,05 дБ/км.

**Для волокон фирмы "Fujikura" G.652C,D и G.655 это требование выполняется.**

- прирост затухания при погружении в воду на 30 дней при температуре  $23^{\circ}C \pm 2^{\circ}C$ . Для волокон G.652C,D и G.655 этот параметр должен быть не более 0,05 дБ/км.

**Данное требование для соответствующих волокон фирмы "Fujikura" выполняется.**

- прирост затухания при ускоренном старении при температуре  $85^{\circ}C \pm 2^{\circ}C$ . Для волокон G.652 C,D этот параметр должны быть не более 0,05 дБ/км.

**Для волокон фирмы "Fujikura" это требование выполняется.**

- коэффициент динамической усталости (Nd) должен быть более 20.

**Для волокон фирмы "Fujikura" это требование выполняется.**

- наличие локальных неоднородностей Не должны быть локальных неоднородностей с затуханием  $> 0,05$  дБ/км на длине волны 1,55 мкм.

**Для всех волокон фирмы "Fujikura" это требование удовлетворяется.**

- устойчивость окраски покрытия. Покрытие волокон не должно изменять своего цвета при старении в условиях:

- 30 дней при  $95^{\circ}C$  и относительной влажности 95%;
- 20 дней при  $125^{\circ}C$  в сухой атмосфере.

**Волокна фирмы "Fujikura" удовлетворяют этому требованию.**

**3.1.11. Ремонтнопригодность оптических волокон** определяется качеством сварок волокон в случае их обрыва. Уровень потерь на сварках

волокон определяется стабильностью геометрических параметров ОВ, основными из которых являются:

- диаметр сердцевины и диаметр модового поля;
- диаметр оболочки;
- величина отклонения диаметра сердцевины от номинальной;
- величина отклонения диаметра оболочки от номинальной;
- отклонение сердцевины и оболочки волокна от формы круга;
- ошибка концентричности сердцевины и оболочки;
- ошибка концентричности оболочки и защитного покрытия;
- разность показателей преломления и числовой апертуры;
- профиль показателя преломления.

Увеличение количества успешных сварок и уменьшение потерь на сварках являются важнейшими целями для обеспечения ремонта оптических систем в случае обрывов волокон. Наибольшее влияние на качество сварок оказывают три параметра:

- **неконцентричность сердцевины и оболочки** волокна, которая определяет, насколько точно сердцевина волокна центрирована по отношению к его оболочке. Чем меньше концентричность, тем меньше вероятность смещения сердцевин свариваемых волокон и более качественное соединение волокон с меньшими потерями.

- **собственный изгиб волокна**, который определяется радиусом изгиба волокна под действием силы тяжести. Если изгиб значителен, то при одновременной сварке нескольких волокон или неточной стыковке в процессе совмещения V-образных канавок сварочного аппарата может иметь место значительный прирост затухания сварок и уменьшается количество успешных сварок. [

- **диаметр волокна**, который определяет наружный размер волокна. Чем меньше допустимый разброс этого параметра, тем большая точность совмещения волокон обеспечивается при стыковке v-образных канавок сварочного аппарата.

При соединении одномодовых волокон необходимо обеспечить максимальное совпадение распределения полей (интенсивностей) их фундаментальных мод. Распределение интенсивностей мод в волокне описывается стандартным распределением Гаусса:

$$I(r) = I_0 e^{(-2r^2/W_0^2)}$$

- где:
- $I(r)$  - приближенное распределение интенсивности в поперечном сечении;
  - $I_0$  - интенсивность на оси волокна;
  - $W_0$  - радиус поля моды;
  - $r$  - расстояние от оси волокна

При соединении многомодовых оптических волокон кроме размеров сердцевины должны совпадать профили показателей преломления соединяемых волокон.

## 3.2. Внутренние факторы

3.2.1. К внутренним факторам, влияющим на выбор ОВ, относятся факторы, обусловленные **технологией изготовления ОВ**.

3.2.1.1. Фирма "Fujikura" производит ОВ по всем основным технологиям, освоенным ведущими фирмами. При этом выбор технологии для изготовления того или иного типа ОВ обусловлен

стремлением обеспечить наивысшее качество изготавливаемого волокна. Современное состояние производства ОВ на фирме "Fujikura" характеризуется следующими показателями:

По технологии осевого парофазного осаждения **VAD** изготавливается основная часть оптических заготовок для производства оптических волокон. Этот метод обеспечивает особо хорошую concentricity сердцевины волокон по сравнению с другими методами.

Метод позволяет управлять составом и структурой модового поля и оболочки волокон в широком диапазоне. При этом методе можно получать заготовки большой длины, что обеспечивает производство оптических волокон большими строительными длинами.

Определенная доля оптических волокон фирма "Fujikura" изготавливает из заготовок, получаемых самым простым и эффективным методом **MCVD** - методом модифицированного химического парофазного осаждения.

Небольшая доля оптических волокон фирма "Fujikura" производит из заготовок, получаемых усовершенствованным методом внутреннего осаждения - методом **PCVD**, использующим разогрев трубки токами высокой частоты.

3.2.1.2. Наиболее значительные достижения при использовании метода **VAD** получены при изготовлении одномодовых волокон Future Guide-**LWP** (с минимальным содержанием гидроксильных групп в заготовке - волокна с низким пиком воды) по рекомендации G.652C и G.652D.

Волокна фирмы "Fujikura" FutureGuide-**LWP** лучше всего подходят для городских сетей и сетей широкополосного доступа. Эти волокна совместимы (свариваются) с обычными одномодовыми волокнами G.652. Эти волокна также рекомендуются для городских сетей, на которых устанавливаются системы передачи со спектральным уплотнением CWDM и DWDM.

3.2.1.3. По технологии **VAD** разработаны оптические заготовки для одномодовых волокон FutureGuide-**SR15** с допустимым радиусом изгиба до 15 мм, соответствующие рекомендации МСЭ-Т G.652B. Эти волокна рекомендуются для изготовления оптических шнуров, кабелей широкополосного доступа, оптических кабелей внутриобъектовых и локальных оптических сетей.

3.2.1.4. По технологии **VAD** разработаны оптические заготовки для одномодовых волокон FutureGuide-**SR-15E** с небольшим радиусом изгиба и увеличенной шириной полосы пропускания. Эти волокна совмещают

преимущества волокон FutureGuide-LWA и FutureGuide-SR15. Эти волокна применяются для изготовления: - оптических шнуров;  
- кабелей широкополосного доступа;  
- внутриобъектовых ОК;  
- ОК локальных сетей;  
- ОК для широкополосных городских сетей с аппаратурой DWDM/CWDM систем.

3.2.1.5. Технология **PCVD** успешно использована при получении заготовок для изготовления волокон **NZDSF** с ненулевой смещённой дисперсией и малым наклоном дисперсии -  $0,05 \text{ пс}/(\text{нм}^2 \cdot \text{км})$  (по рекомендации МСЭ-Т G.655). Эти волокна рекомендуются для ВОЛС с большими длинами регенерационных участков, с системами с плотным спектральным уплотнением DWDM, работающих в диапазоне **C** (1,46-1,53 мкм) и **L** (1,53-1,565 мкм). Волокна получили спецификацию FutureGuide- **SS**.

На сетях связи это волокно полностью совместимо с волокном TrueWave-RS фирмы "ofs".

3.2.1.6. Дальнейшее усовершенствование метода **PCVD** позволило получить заготовки для вытяжки волокон с нулевой смещённой дисперсией со сверхнизким наклоном дисперсии -  $0,02 \text{ пс}/(\text{нм}^2 \cdot \text{км})$ .

3.2.1.7. Методами **VAD**, и **PCVD** получены заготовки для изготовления волокон с нулевой смещённой дисперсией и с большой эффективной зоной  $A_{\text{eff}} = 72 \text{ нм}^2$  (по рекомендации МСЭ-Т G.655). Эти волокна работают в диапазоне **C** и **L** и имеют спецификацию: FutureGuide-**LA**. Рекомендуются для ВОЛС с большими длинами регенерационных участков и системами DWDM. Волокна FutureGuide-**LA** совместимы с волокнами LEAF фирмы "Corning".

3.2.1.8. Дальнейшее усовершенствование технологии изготовления заготовок для волокон FutureGuide-**LA** позволило получить заготовки для получения волокон FutureGuide-**ULA** со сверхбольшой эффективной зоной ( $A_{\text{eff}} = 92 \text{ нм}^2$ ) и средней дисперсией. Волокна рекомендуются для ВОЛС с большими расстояниями, работающими с DWDM-системами с использованием диапазонов **S**, **C** и **L**.

Волокна полностью совместимы с волокнами LEAF фирмы "Corning".

**3.2.2. Допуски на геометрические параметры ОВ фирмы "Fujikura"** определяются использованием высококачественных оптических заготовок, основным методом изготовления которых служит метод парофазного торцевого осаждения (VAD), а также применением прецизионных установок вытяжки оптических волокон. Это обеспечивает высокую точность геометрических размеров оптических волокон. При этом важные для сварок волокон геометрические параметры характеризуются следующими значениями: неконцентричность сердцевины основных одномодовых волокон не превышает  $\pm 0,5 \text{ мкм}$ ; допуск на диаметр оболочки не превышает  $\pm 1,0 \text{ мкм}$ ; диаметр модового поля и его допуски для одномодовых волокон на рабочих длинах волн 1,31 и 1,55 мкм представлены в таблице 3.2.2.1:

Таблица 3.2.2.1

Тип ОВ	Допуски, мкм		
	Неконцентричность сердцевины, мкм	Диаметр модового поля на 1,31 мкм, мкм	Диаметр модового поля на 1,55 мкм, мкм
Одномодовые волокна типов:: SM (G.652B) LWP (G.652D) SR 15(G.625B) SR 15E (G.652D) DS (G.653) LA(G.655) SS(G.655) ULA(G.655) USS(G.656)	$\pm 0,5$	9,2 $\pm$ 0,4 9,2 $\pm$ 0,4 8,6 $\pm$ 0,4 8,6 $\pm$ 0,4	10,4 $\pm$ 0,8 10,4 $\pm$ 0,8  8,2 $\pm$ 0,8 9,6 $\pm$ 0,4 8,4 $\pm$ 0,6 9,5 $\pm$ 0,4 7,7 $\pm$ 0,4

Допуски на геометрические размеры волокон "Fujikura" соответствует лучшим мировым достижениям для оптических волокон. Эти допуски для соответствующих типов волокон фирм "Corning" и "ofs" имеют полностью идентичные значения. Этот фактор является определяющим для обеспечения надежных сварок волокон "Fujikura" с идентичными волокнами "Corning" или "ofs", при этом затухания таких сварок находятся на уровне сварок однотипных волокон "Fujikura" друг с другом. Этот фактор является решающим аргументом для **подтверждения возможности использовать совместно идентичные волокна "Fujikura" и "Corning" (или "ofs") на одной сети.**

**3.2.3. Требования к сварным соединениям** обеспечивают низкие вносимые потери при сращивании оптических волокон методом сварки в первую очередь благодаря выбору высококачественного волокна. Для решения проблемы низких вносимых потерь требуются оптические волокна, которые не сложно подготовить к сращиванию и которые легко и точно сращиваются без брака и с гарантией долговременной надёжности.

Наиболее важными параметрами, влияющими на качество сварных соединений, являются: неконцентричность сердцевины относительно оболочки, допуски диаметра модового поля, допуски внешнего диаметра и радиус собственной кривизны волокна. Приоритетное значение отдельных характеристик волокна зависит от метода сварки: одиночная сварка отдельных волокон или одновременная сварка нескольких волокон ("групповая сварка").

Для одиночной сварки, а также в некоторой степени для групповой сварки вносимые потери зависят от погрешности концентричности сердцевины относительно оболочки. Фактически 99% потерь, вносимых в результате одиночного сращивания одномодовых волокон, можно отнести за счет вероятностного распределения погрешности концентричности сердцевины

относительно оболочки. При массовой сварке наиболее важным параметром является допуск внешнего диаметра соединяемых волокон.

ОВ фирмы "Fujikura" имеют один из самых низких допусков для неконцентричности сердцевины ( $\leq 0,5$  мкм) и для диаметра оболочки ( $\pm 0,7$  мкм) среди ведущих мировых производителей оптических волокон. Они обеспечивают потери при одиночных сварках одностипных волокон не более 0,03 дБ на сварное соединение.

На процесс сварки оптических волокон оказывают влияние:

- легкость удаления защитного покрытия. Покрытие волокон "Fujikura" с одной стороны является прочным, обеспечивающим прекрасную защиту от воздействия внешних факторов и длительную надежность, с другой - легко удаляется при разделке волокон:  $\geq 1,3$  Н  $\leq 8,9$  Н;

- собственная кривизна волокон, которая влияет на расположение волокон в V-образных канавках сварного аппарата. Для волокон "Fujikura" собственная кривизна более 4м, что обеспечивает влияние этого фактора на уровне менее 1% в общих потерях на сращивание.

#### **4. Рекомендации по результатам теоретических и экспериментальных исследований ОВ фирмы "Fujikura"**

**4.1. Рекомендации по результатам оценки измерений затухания** составлены на базе многолетнего периода использования волокон фирмы "Fujikura" на российских сетях связи. За этот период накоплены большие объемы результатов измерений затухания волокон в различных условиях эксплуатации. Анализ имеющихся результатов измерения затухания ОВ фирмы "Fujikura" позволяют сделать следующие **рекомендации**:

- Одномодовые волокна фирмы "Fujikura" с ненулевой смещенной дисперсией **NZDSF** наиболее эффективны на подводных, транзитных, магистральных, междугородных линиях связи, на которых предполагается использование систем передачи со спектральным уплотнением и планируется как минимум одна модернизация, предполагающая использование аппаратуры следующего поколения с пропускной способностью в 10-100 раз большей первоначальной.

- Одномодовые волокна фирмы "Fujikura" по рекомендациям МСЭ-Т **G.652 В, С, D** особенно эффективны на сетях связи с завышенными требованиями стабильности затухания во всем диапазоне воздействия внешних факторов (температуры, влажности).

Разброс затухания ОВ фирмы "Fujikura" при многолетних изменениях температуры и влажности один из самых низких для всех типов ОВ, используемых на сетях связи России.

- Одномодовые волокна **SR15, SR15E** фирмы "Fujikura" рекомендуются на местных, внутриобъектовых сетях связи и сетях широкополосного доступа, на которых предъявляются жесткие ограничения на прирост затухания при механических воздействиях на ОВ и при малых радиусах изгиба волокон (в кассетах муфт, в телекоммуникационных шкафах).

## 4.2. Рекомендации по результатам анализа измерений хроматической дисперсии (ХД)

4.2.1. По величине хроматической дисперсии одномодовые волокна фирмы "Fujikura" делятся на следующие типы:

- стандартное одномодовое волокно - **SM** (G.652, G.652B, G.652C, G.652D);
- волокно со смещенной на длине волны 1,55 дисперсией - **DS** (G.653);
- волокно с ненулевой смещенной дисперсией **NZDSF** (G.655);
- волокно со сглаженной дисперсией (G.656);
- специальные волокна.

4.2.2. Стандартное ОВ (**SM**) предполагает нулевую хроматическую дисперсию на длине волны 1,31 мкм, а на длине волны 1,55 мкм значение ХД нормируется 18 пс/нм·км. Анализ измерений ХД для всех типов волокон **SM** фирмы "Fujikura" показывает, что величина ХД на длине волны 1,55 мкм находится в пределах 17 -19 пс/нм·км, что указывает на высокую стабильность технологии производства ОВ.

4.2.3. Высокое значение ХД (18 пс/нм·км) на рабочей длине 1,55 мкм для ОВ типа **SM** затрудняет работу на ВОЛП с этими волокнами систем передачи со скоростями более 10 Гбит/с. В качестве одного из технических средств для преодоления этого препятствия используются устройства компенсации дисперсии, которые устанавливаются на ВОЛП при использовании систем передачи со скоростями выше 10 Гбит/с и систем со спектральным уплотнением.

4.2.4. Наклон кривой дисперсионной характеристики волокон **SM** фирмы "Fujikura" составляет 0,09 пс / (км·нм<sup>2</sup>) и стабилен для всех типов волокон **SM**.

4.2.5. Для обеспечения работы высокоскоростных (выше 10 Гбит/с) систем передачи по одному каналу на длине волны 1,55 мкм разработано волокно с нулевой смещенной дисперсией Fujikura - **DS** на длине волны 1,55 мкм ( рекомендация МСЭ-Т G.653). Но это волокно не нашло широкого применения из-за влияния эффекта четырехволнового смещения - возникновения комбинационных частот, приводящих к взаимным помехам каналов в системах со спектральным уплотнением.

4.2.6. Для обеспечения работы систем со спектральным уплотнением по одному волокну на длине волны 1,55 мкм разработаны волокна с ненулевой (но небольшой) смещенной дисперсией на этой длине волны: волокна Fujikura - **NZDSF** (в соответствии с рекомендацией МСЭ-Т G.655). Длины волн с нулевой дисперсией выведены за пределы рабочего диапазона. Максимальная дисперсия волокон **NZDSF** в диапазоне длин волн 1535-1575 нм составляет не более 3,5 пс/нм·км. Наклон кривой ДГС в таких волокнах составляет не более 0,09 пс/(км·нм<sup>2</sup>). Этого достаточно, чтобы на волокнах фирмы "Fujikura" - **NZDSF** обеспечивать передачу информации со скоростью до 10 Гбит/с в одном канале на расстояние до 500 км без применения компенсаторов хроматической дисперсии.

**4.3. Рекомендации по учету результатов измерений поляризационно-модовой дисперсии (ПМД)** разработаны на основе анализа статистической обработки измерений ПМД свободных волокон, волокон в кабелях и волокон на проложенных ВОЛП.

В высокоскоростных системах связи при использовании узкополосных источников излучения становится заметным влияние поляризационно-модовой дисперсии по мере увеличения скорости передачи информации по одному каналу от 10 до 40 Гбит/с и дальности передачи до нескольких тысяч км. Явление ПМД обусловлено различием в скоростях распространения поляризационных компонент светового сигнала, которое приводит к возникновению разности групповых задержек (РГЗ) между ними и вызывает увеличение длительности светового импульса. РГЗ имеет динамический характер и статистическую природу, поэтому:

- величина РГЗ изменяется во времени, что приводит к увеличению длительности импульсов;
- величина расширения светового импульса зависит от поляризации входного светового импульса;
- величина расширения светового импульса зависит от длины волны.

Поэтому ОВ можно охарактеризовать только усредненным значением РГЗ, для которого используются среднеквадратичное или среднее значение, которое и называется ПМД.

В длинном волокне величина РГЗ может изменяться в довольно широких пределах, являясь случайной функцией длины волны, времени и температуры окружающей среды. Величина ПМД определяется как среднее значение РГЗ при усреднении по длинам волн и измеряется в пс/ $\sqrt{\text{км}}$ . Для расчетов максимально допустимой скорости передачи по ВОЛС необходимо принимать во внимание не только значения ПМД в свободном волокне, но измерять ПМД в процессе изготовления кабеля и при строительстве ВОЛС. В составе ВОЛС кроме длинных участков волокна входят другие элементы, статистические свойства двулучепреломления в которых отличаются от случайного распределения. Для оценки работоспособности систем связи важно определить не среднее, а максимальное значение ПМД. При этом **максимальный уровень ПМД** определяется таким образом, что вероятность того, что реальное ПМД линии превышает этот уровень на некоторое заданное малое значение  $Q$ :

$$\text{ПМД}_Q < Q.$$

**4.4. Оценка температурной зависимости ХД и ПМД** произведена с целью выявления её влияния на ограничение скорости передачи.

**Температурная зависимость ХД** оптических волокон в рабочем диапазоне для кабелей ( $-50^\circ\text{C} \div 70^\circ\text{C}$ ) определяется значениями в сотые доли от 1 пс/нм.км, что находится в пределах погрешности измерения хроматической дисперсии волокон. Для современных систем передачи такие изменения ХД являются незначительными и в расчетах **не учитываются**.

**Температурная зависимость ПМД** оптических волокон в диапазоне  $-50^\circ\text{C} \div 70^\circ\text{C}$  **носит случайный характер**. Эта зависимость существенно менее выраженная, чем температурная зависимость затухания волокон в составе кабелей, проложенных по трассе. Поэтому этой **зависимостью можно пренебречь** при современном уровне скоростей передачи систем связи.

#### 4.5. Рекомендации по результатам оценки измерений нелинейных эффектов ВКР, ВРМБ, ЧВС, МН, ФСМ, ФКМ, рэлеевского отражения в зависимости от мощности сигнала и его спектральной ширины

Нелинейные эффекты в оптическом волокне всегда связаны с уровнем (мощностью) транслируемого сигнала и не подлежат устранению в конечной точке приёма. Нелинейные эффекты в высокоскоростных системах со спектральным уплотнением представляют собой фундаментальные ограничения по объёму информации, передаваемой по отдельному ОВ в единицу времени. Знание этих эффектов по используемым волокнам является обязательным условием работы системного интегратора.

Нелинейные процессы, которые возникают в оптических волокнах при определённых мощностях излучения, могут оказывать влияние на дальность и скорость передачи информации. К таким нелинейным процессам относятся:

**4.5.1. Вынужденное комбинационное (рамановское) рассеяние (ВКР)** является нелинейным процессом генерации стоксовой волны  $\omega_c$  в поле накачки с частотой  $\omega_n$ . Этот нелинейный процесс в световодах является результатом взаимодействия в нелинейной среде светового излучения и флуктуаций поляризации среды, вызванных колебаниями заряженных частиц. Такое взаимодействие приводит к обмену энергиями между световой волной и средой и к возникновению или усилению световых волн.

Тепловые колебания атомов Si и O в кварцевом волокне на частоте  $\omega_{ph}$  приводят к модуляции поляризации среды на частоте колебаний. При распространении излучения в волокне с частотой  $\omega$  в результате комбинационного взаимодействия с колебаниями поляризации среды возникает излучение на комбинационных частотах  $\omega - \omega_{ph}$  (стоксовая компонента) и  $\omega + \omega_{ph}$  (антистоксовая компонента). На языке энергии фотонов стоксовая компонента соответствует рассеянию с потерей энергии фотонами, а антистоксовая компонента соответствует рассеянию с увеличением энергии фотонов. Максимум спектра ВКР сдвинут на величину примерно  $\pm 40 \text{ см}^{-1}$  ( $\pm 13 \text{ ТГц}$ ).

Эффект ВКР применяется для усиления сигналов в системах оптической связи. Но для многоканальных систем оптической связи, использующих спектральное уплотнение, этот эффект может привести к перекрестным помехам между каналами и ухудшить характеристики системы. Причина помех заключается в том, что сигнал в коротковолновом канале может служить накачкой для сигнала в длинноволновом канале, и передавать ему часть своей энергии.

В волокнах "Fujikura" по технологии VAD используется плавненный кварц, для которого полосы частот молекулярных колебаний перекрываются и создают континуум. В результате комбинационное усиление в этих волокнах существует в широком диапазоне частот. Благодаря этому свойству волокна могут действовать как широкополосные усилители.

Указанное свойство волокон по технологии VAD делает их более предпочтительным для систем со спектральным уплотнителем, так как в полосе частот этих систем отсутствуют явления накачки сигналов длинноволновых каналов сигналами коротковолновых каналов. Поэтому **волокна SM** фирмы "Fujikura", изготовленные по технологии VAD, **не чувствительны к эффекту ВКР при применении систем со спектральным уплотнением.**

**4.5.2. Вынужденное рассеяние Манделъштама-Бриллюэна (ВРМБ)**, представляющее собой нелинейный процесс, проявляющийся в виде генерации стоксовой волны, распространяющейся в обратном относительно волны накачки направлении и содержащей значительную часть начальной энергии. В процессе ВРМБ участвует акустический фотон.

ВРМБ представляется как процесс уничтожения фотона накачки и одновременного появления стоксова фотона и акустического фотона, т.е. процесс ВРМБ описывается как параметрическое взаимодействие между волнами накачки, стоксовой и акустической.

В одномодовом световоде возможно только обратное направление распространения ВРМБ. Для типичных значений параметров кварцевых световодов частотная отстройка равна  $\nu_0 = 11,1$  ГГц.

ВРМБ может возникать в световодах при мощности излучения много меньшей, чем требуется для вынужденного комбинационного рассеяния (ВКР). При непрерывной накачке ВРМБ является доминирующим нелинейным процессом в световодах. Это связано с тем, что порог ВРМБ по полю ( $10^3$  В/см) близок к порогу внутриатомного поля, удерживающего электроны вблизи ядра ( $3 \cdot 10^3$  В/см).

Если мощность излучения в световоде превышает порог ВРМБ, то заметная часть мощности преобразуется в стоксово излучение, распространяющееся в обратном направлении. В результате мощность сигнала на приёмнике оказывается существенно меньше, чем в отсутствие ВРМБ. Кроме того порождается мощный сигнал, направленный обратно к передатчику, вызывая необходимость защиты его специальным изолятором.

В случае многоканальной системы со спектральным уплотнением мощность в каждом канале должна быть ниже порога ВРМБ. В противном случае в системе могут возникнуть перекрестные помехи.

**Волокна SM "Fujikura" по технологии VAD**, использующие плавленый кварц, характеризующийся континуумом полосы частот молекулярных колебаний, **отличаются** от других типов волокон, использующих природный кварц, более **высоким порогом ВРМБ** и **рекомендуются для систем со спектральным уплотнением.**

**4.5.3. Нелинейный эффект четырехволнового смещения (ЧВС)** наиболее ярко проявляется в волокнах с нулевой дисперсией на рабочей длине волны. При нулевой дисперсии возникают комбинационные частоты, приводящие к взаимным помехам каналов. Для подавления четырехволнового смещения разработаны волокна с небольшой дисперсией на рабочей длине волны. При этом изменение дисперсии с длиной волны должно быть минимальным. Длины волн нулевой дисперсии выведены за пределы рабочего диапазона (рекомендация МСЭ-Т G.655).

Такие волокна с ненулевой смещённой дисперсией предназначаются прежде всего для высокоскоростных систем со спектральным уплотнением. **Волокна NZDSF** фирмы "Fujikura" относятся к лучшим волокнам этого класса и рекомендуются во всех случаях строительства ВОЛС с системами со спектральным уплотнением.

**4.5.4. Нелинейный эффект фазовой самомодуляции (ФСМ)** возникает из-за зависимости коэффициента преломления  $n$  от интенсивности света (эффект Керра). ФСМ начинает проявляться при мощностях более 8-10 мВт (в

зависимости от типа волокон) и не зависит от числа каналов. Проявляется при высоких скоростях (2,5 Гбит/с и более). При прохождении оптического импульса вдоль волокна меняется его амплитуда, следовательно, имеется и величина коэффициента преломления  $n$ , как нелинейного элемента, зависящего от интенсивности света в конкретном сечении волокна. Поскольку интенсивность света меняется во времени, меняется во времени и величина  $n$ . Так как энергия импульса минимальна на его переднем фронте (он обязан высокочастотным составляющим - более коротким длинам волн) и максимальна на его заднем фронте (он обязан низкочастотным составляющим - более длинным длинами волн), то изменение  $n$  будет сильнее во время прохождения заднего фронта, искажая его форму, но не длительность (отсюда и название - "фазовая самомодуляция").

**Волокна SM "Fujikura", изготовленные по технологии VAD, имеют** большой порог проявления эффекта ФСМ (ближе к 10 мВт), поэтому этим волокнам **отдаётся предпочтение при работе систем передачи информации, чувствительных к ФСМ.**

**4.5.5. Явление фазовой кросс-модуляции (ФМК)** обусловлено набегом фазы, наведенным электрическим полем источника, излучающего на другой длине волны; эта волна распространяется совместно с исходной и вызывает асимметричное спектральное уширение совместно распространяющихся импульсов.

Явление ФМК очень схоже с явлением ФСМ, но рассматривается уже применительно к двум и более оптическим каналам, т.е. применительно к CWDM/DWDM - системами. Точно также, как и при ФСМ, возникает изменение индекса  $n$  при увеличении интенсивности света. Так как каналные уровни мощностей в CWDM/DWDM - системах примерно одинаковые, то при ФМК увеличивается нелинейный фазовый сдвиг примерно в  $2N$  раз, где  $N$  - число задействованных оптических каналов в одном ОВ. ФМК приводит к таким же искажениям импульсов, как и ФСМ, только в ещё большей степени. Для эффекта ФМК характерна большая степень зависимости от дисперсии ОВ по сравнению с эффектом ФСМ.

Для снижения влияния ФМК необходимо выбирать оптические волокна с максимально возможной эффективной площадью сечения (это относится ко всем видам нелинейных эффектов) и, по возможности, снижать каналный уровень оптической мощности.

Волокна **SM, NDSF "Fujikura"** относятся к волокнам, с высокой эффективной площадью сечения, поэтому они **рекомендуются во всех случаях использования DWDM - систем, чувствительных к нелинейным эффектам и к эффекту ФМК** в частности.

**4.5.6. Явление модуляционной нестабильности (МН)**, наблюдаемое только в волокнах с положительной дисперсией, проявляется в виде пиков на импульсах и в виде уширения спектра импульса.

Появление пиков на импульсах связано с эффектом самовоздействия волн. Этот эффект приводит к тому, что длина волны на заднем фронте импульса оказывается короче длины волны на переднем фронте. ОВ с положительной дисперсией ускоряет волну заднего фронта сильнее, чем более длинную волну переднего фронта. Когда задний фронт входит во взаимодействие с передним фронтом, возникает интерференция, которая и

служит причиной образования пиков на передаваемых импульсах. После детектирования оптического сигнала и последующей электрической фильтрации амплитуда пиков уменьшается так, что они не оказывают существенного влияния на работу систем связи протяженностью менее 1000 км.

**Наиболее предпочтительным для уменьшения влияния эффекта модуляционной нестабильности являются волокна с положительной дисперсией.** К таким волокнам относятся волокна **SM** и **NZDSF** фирмы "Fujikura".

**4.5.7. Оценка уровня Бриллюэновского рассеяния и рэлеевского отражения** в зависимости от мощности сигнала и его спектральной ширины проведена в предположении, что оптическое волокно в волоконно-оптическом кабеле, как любое пассивное устройство, является нелинейным устройством, для которого характерны нелинейные искажения передаваемого сигнала в зависимости от уровня их мощности. Это явление становится особенно важным параметром, который необходимо учитывать при высоких информационных скоростях, высокой передаваемой мощности, протяжённых ВОЛС, использовании спектрального уплотнения.

Теоретический предел передачи по одномодовому волокну с учетом современных технологических достижений составляет около 100 Тбит/с (например, 2500 каналов по 40 Гбит/с или 1000 каналов по 100 Гбит/с). Реальные лучшие системы DWDM не превышают скоростей 16...20 Тбит/с. Такие ограничения в первую очередь объясняются нелинейными эффектами.

Стимулированное Бриллюэновское рассеяние (SBS) устанавливает верхний предел на уровень оптической мощности. При превышении определенной мощности (порог SBS) в ОБ возникает акустическая волна, под воздействием которой изменяется коэффициент преломления  $n$ , а изменение  $n$  вызывает рассеяние света, приводя к дополнительной генерации акустических волн. В конечном счёте из-за этого эффекта возникает волна со смещённой частотой (волна Стокса), распространяющаяся в обратном направлении к источнику света. В результате ослабляется полезная передаваемая мощность.

До порога SBS отраженная световая волна увеличивается прямо пропорционально уровню подводимой оптической мощности, т.е. подчиняется Бриллюэновскому и Рэлеевскому законам рассеяния (зависит от эффективной площади модового поля  $A_{эфф}$ ). Лавинный процесс увеличения мощности отражённой волны начинается после преодоления порога SBS:

$$P_{SBS} \approx \frac{21b A_{эфф}}{g_B L_{эфф}} \left( 1 + \frac{\Delta\nu_{LS}}{\Delta\nu_{BW}} \right)$$

где:  $b$  - численное значение между 1 и 2, зависит от поляризационного состояния волны;

$g_B \approx 4,6 \cdot 10^{-11}$  м/Вт - SBS-усилительный коэффициент, зависит от типа

ОБ;

$L_{эфф}$  - эффективная длина ОБ, определяемая как

$$L_{эфф} = \alpha^{-1} [1 - \exp(-\alpha L)];$$

$\alpha$  - коэффициент затухания;

$L$  - физическая длина ОВ;

$\Delta\nu_{LS}$  -линейная (спектральная) ширина полосы лазерного источника;

$\Delta\nu_B \approx 20$  МГц (на 1,55 мкм) - SBS-полоса взаимодействия.

Для борьбы с SBS существуют три подхода:

- Использование фазовой модуляции вместо традиционной амплитудной.
- Снижение передаваемой мощности ниже порога SBS. Это дорогой способ, он требует частого включения оптических усилителей.
- Увеличение спектральной ширины лазерного источника.

При передаче импульсных сигналов действует правило: чем короче длина импульса, тем больше порог SBS.

Таким образом, волокна фирмы "Fujikura" в отношении влияния уровней Бриллюэновского отражения и Рэлеевского отражения находятся в такой же ситуации, как и волокна других фирм: **борьба с SBS осуществляется аппаратурными средствами.**

#### 4.6. Оценка результатов сварок оптических волокон фирмы "Fujikura" с волокнами других фирм

При сращивании оптических волокон методом сварки необходимо обеспечить низкие вносимые потери. В полевых условиях монтаж кабельных муфт часто приходится осуществлять при неблагоприятных условиях. Очень важно поэтому использовать оптические волокна, которые несложно подготовить к сварке, а сама сварка обеспечивает гарантированное надежное соединение с низкими потерями.

Наиболее важными параметрами, влияющими на качество сращивания, являются неконцентричность сердцевины относительно оболочки, допуски диаметра модового поля, допуски внешнего диаметра и радиус собственной кривизны волокна. Приоритетное значение определенных характеристик волокна зависит от того, какой метод сращивания применяется: одиночная сварка отдельных волокон или сварка одновременно нескольких волокон ("массовая сварка").

Для одиночных сварок вносимые потери в значительной степени зависят от погрешности концентричности сердцевины относительно оболочки, а для массовых сварок - допуски внешнего диаметра соединяемых волокон. Средние потери на длине волны 1,55 мкм, вносимые сращиванием волокон "Fujikura" разных типов, представлены в таблице 4.6.1.

Таблица 4.6.1

	Волокно LWP	Волокно LA	Волокно ULA
Волокно LWP	0,01	0,1	0,1
Волокно LA		0,03	0,05
Волокно ULA			0,03

При сварках волокон "Fujikura" даже с однотипными волокнами других фирм необходимо учитывать различия волокон, которые определяются

неидентичностью кварца разных производителей оптических заготовок, особенностями "ноу-хау" технологических процессов при изготовлении оптических заготовок и оптических волокон. Эти различия и особенности приводят к отличиям номинальных значений параметров волокон и их допусков. Не являются полностью идентичными у разных волокон и такие параметры, как вязкость и показатель преломления. Качество ОВ характеризуется статическим распределением значений параметров и их допусков, отражая стабильность технологического процесса.

Дополнительные потери в сварном соединении ОВ с разными диаметрами модовых полей  $d_{mp1}$  и  $d_{mp2}$  (в мкм) определяются как:

$$\Delta\alpha = -20 \lg \left( \frac{2 d_{mp1} \times d_{mp2}}{d_{mp1} + d_{mp2}} \right), \text{ дБ.}$$

Сварка ОВ с различными значениями характеристик дисперсии формирует нерегулярный по длине диэлектрический волновод. Это приводит к локальным неоднородностям и, как следствие, к увеличению потерь.

Экспериментальные исследования качества сварных соединений волокон, изготовленных по рекомендации МСЭ-Т G.652 фирмой "Fujikura", с волокнами, изготовленными по той же рекомендации G.652 другими фирмами, представленными на российском рынке в наибольшей степени, а именно, фирмами "Corning" и "ofs", проведенные в соответствии с рекомендацией МСЭ-Т G.650 в ЦНИИС на 480 соединениях, показали, что затухания на сварных соединениях волокон этих фирм в любом сочетании не превышают 0,02 дБ на каждое соединение.

Низкие значения затухания сварных соединений волокон "Fujikura" с соответствующих типов волокнами фирм "Corning" и "ofs" и их высокая надежность позволяют сделать вывод о том, что на одной и той же ВОЛП можно использовать волокна "Fujikura" вместе с волокнами "Corning" или "ofs" без какого-либо ухудшения параметров данной ВОЛП. Главное требование при таком совместном использовании заключается в том, чтобы волокна разных фирм были одного и того же типа. Допускаются варианты ремонта ВОЛС, построенных на оптических кабелях с волокнами фирм "Corning" или "ofs", кабелями с волокнами фирмы "Fujikura" того типа, который соответствует использованным на ВОЛП типам волокон.

**Таким образом, волокна "Fujikura", являясь одними из лучших оптических волокон на мировом рынке, могут использоваться на всех сегментах сетей связи России. При этом возможно их комбинированное использование с соответствующими типами волокон "Corning" или "ofs", например, для ремонтных целей.**

**4.7. Рекомендации по расчету бюджета мощности ЭКУ ВОЛС с учетом перспективных модернизаций систем передачи** разработаны, исходя из предположения, что технически правильно построенные ВОЛП могут эксплуатироваться не менее 25 лет. Конечно, за такой промежуток времени

аппаратура систем передачи безнадежно устаревает и подвергается, как минимум, одной замене за срок службы ВОЛП.

Каждое новое поколение аппаратуры систем передачи обладает значительно большими возможностями по объему передаваемой информации. Поэтому очень важно в процессе проектирования ВОЛС предусмотреть минимальные технические реконструкции ВОЛС в ходе последующих модернизаций систем передачи. Это относится прежде всего к расчету бюджета мощности перспективных систем передачи с их большими возможностями по скорости передачи информации. В настоящее время эти перспективы связаны с установкой после модернизации систем со спектральным уплотнением.

С учетом указанных факторов расчет бюджета мощности ЭКУ ВОЛП в предположении последующих модернизаций систем передачи рекомендуется осуществлять в следующей последовательности:

**Первый этап:** Рассчитывается бюджет мощности ЭКУ ВОЛП, исходя из суммирования всех составляющих потерь на элементах ЭКУ (потери на затухание в волокнах, сварках волокон, разъемных соединителях).

**Второй этап:** Рассчитывается дополнительный запас мощности на затухание ЭКУ с учетом требуемой надежности, прогнозируемого старения, ремонтных работ на весь срок эксплуатации ВОЛП.

**Третий этап:** Определяется максимально допустимая мощность передатчика перспективных для модернизации систем передачи с учетом ограничений из-за эффектов обратного Бриллюэновского рассеяния и Рэлеевского отражения.

**Четвертый этап:** Рассчитываются параметры нелинейных эффектов (ВРМБ, ВКР, ФСМ, МН и ФКМ) для систем со спектральным уплотнением максимальной прогнозируемой плотности.

**Пятый этап:** Определяется максимально допустимая длина ЭКУ ВОЛП, которая равняется наименьшей длине ЭКУ, с учетом всех указанных выше факторов.

## **5. Рекомендации по применению оптических волокон фирмы "Fujikura" на ВОЛП Российской Федерации**

**5.1. Рекомендации по применению ОВ "Fujikura" на магистральных, междугородных ВОЛП** учитывают тот факт, что исторически сложилась такая ситуация, при которой национальная магистральная волоконно-оптическая сеть России, построенная ОАО "Ростелеком" до 2001 года, базируется на кабелях с волокнами фирмы "Fujikura". Эти волокна, основную часть которых составляют волокна по рекомендации МСЭ-Т G.652, отлично проявили себя за более чем 10-летний период эксплуатации. Волокна фирмы "Fujikura" отличает временная и температурная стабильность параметров, ремонтпригодность и обеспечение беспроблемной модернизации ВОЛП системами со спектральным уплотнением DWDM.

Экспериментальные исследования параметров сварных соединений оптических волокон фирмы "Fujikura" друг с другом и с оптическими волокнами фирм "Corning" и "ofs", исследования нелинейных эффектов при передаче оптических сигналов по волокнам фирмы "Fujikura" позволяют сделать следующие рекомендации по их применению на магистральных, междугородных ВОЛП:

- **Волокна фирмы "Fujikura" рекомендуются к применению на магистральных и междугородных ВОЛП России без каких-либо**

ограничений в соответствии с кодами применения, представленными в разделе 3 настоящего документа.

- Допускается совместное использование волокон "Fujikura" с волокнами соответствующих типов фирм "Corning" и "ofs" на магистральных и междугородных ВОЛП, оборудуемых высокоскоростными системами системы передачи, в том числе системами со спектральным уплотнением DWDM до 80 каналов. в 10 Гбит/с.
- Расчет бюджета мощности ЭКУ на магистральных линиях передачи следует осуществлять с учетом ограничений на длину ЭКУ из-за нелинейных эффектов и ограничений передаваемой мощности с учетом установки систем со спектральным уплотнением DWDM.
- Расчеты установки оптических усилителей и компенсаторов хроматической дисперсии осуществляются с учетом прогнозируемых модернизаций ВОЛП, предусматривающих установку систем передачи следующих поколений.

**5.2. Рекомендации по применению ОВ " Fujikura" на местных сетях** разработаны с учетом сравнения параметров волокон фирмы "Fujikura" различных типов с параметрами волокон таких же типов фирм "Corning" и "ofs". Это сравнение показывает, что волокна "Fujikura" обладают, по крайней мере, не меньшими, чем волокна "Corning" и "ofs", "ресурсами" широкополосности, передаваемой мощности, затухания. Поэтому эти волокна можно использовать повсеместно без ограничений на местных сетях с учетом следующих рекомендаций:

- **Выбор типа волокон должен соответствовать назначению местной сети связи по широкополосности, по воздействующим внешним факторам, по допустимым изгибам в процессе прокладки кабелей и их эксплуатации.**
- Для местных сетей разветвленной структуры, например, для сетей кабельного телевидения, необходимо производить расчеты допустимой мощности передачи с целью предотвращения негативного воздействия эффектов обратного Бриллюэновского рассеяния и Рэлеевского отражения, а также нелинейных эффектов.
- Для местных сетей, строящихся с использованием подвешиваемых оптических кабелей, следует применять ОВ, выдерживающие соответствующие условиям подвески механические и климатические воздействия.
- Для подключения к кроссовому оборудованию рекомендуется использовать кабели с ОВ, допускающими малые радиусы изгибов (до 15 мм).

### **5.3. Рекомендации по применению оборудования для сварки волокон фирмы "Fujikura"**

Качество сварных соединений оптических волокон при строительстве ВОЛП является важнейшим фактором эксплуатационной надежности линий связи. Поэтому на фирме "Fujikura" наряду с производством оптических волокон параллельно развивается производство аппаратов и оборудования для их сварки. При этом аппараты для сварки в максимальной степени приспособлены для сварки волокон "Fujikura". Они непрерывно

усовершенствуются и модернизируются по мере освоения производства новых типов волокон.

На российском рынке аппараты для сварки оптических волокон фирмы "Fujikura" появились вместе с появлением оптических волокон и в настоящее время прочно занимают ведущие позиции в этой области техники. Наиболее полно масштабно представлен в России в настоящее время аппарат типа FSM-40S, обладающий высокими параметрами быстродействия, точности сварки и оценки потерь в сварном соединении. Аппарат обеспечивает также высококачественную сварку оптических волокон других фирм, аналогичных волокнам фирмы "Fujikura", а также сварок волокон этих фирм в любой комбинации. Аппарат сварки FSM-50S пришел на смену ранее хорошо зарекомендовавших себя в России аппаратов FSM-40S и FSM-30S.

С учетом имеющегося опыта использования в России аппаратов для сварки оптических волокон фирмы "Fujikura" рекомендации по применению этого оборудования формируются следующим образом:

- **Наилучшее качество сварок оптических волокон фирмы "Fujikura" обеспечивают аппараты для сварок этой же фирмы как наиболее адаптированные для указанных волокон.** Самая распространенная модель аппарата для сварки оптических волокон фирмы "Fujikura" в настоящее время FSM-50S характеризуется следующими параметрами:
  - рабочий диапазон температур - от минус 10°C до 50°C;
  - средние потери на сварном соединении - 0,02 дБ для одномодовых волокон SM, 0,04 дБ для одномодовых волокон NZDS, 0,01 дБ для многомодовых волокон;
  - типичное время сварки - 9 с для волокон SM;
  - коэффициент отражения от сварного соединения - не более минус 60 дБ;
  - программы сварок: 40 настраиваемых пользователем программ сварок и 60 устанавливаемых на заводе программ сварки;
  - функции внесения преднамеренных потерь в месте сварки: в пределах от 0,1 до 15 дБ с шагом 0,1 дБ для создания искусственного затухания в линии;
  - сохранение параметров и результатов сварки: внутренняя память до 2000 результатов;
  - оценка потерь сварки: производится по смещению волокон и совпадению диаметров модовых полей, а также угловому смещению волокон;
  - длина защищаемых волокон: от 8 до 16 мм;
  - увеличение места сварки: в 295 или 147 раз (для одновременного просмотра по осям X и Y);
  - автоматическая подборка мощности дуги при изменении давления от высоты от 0 до 3500 м над уровнем моря, относительной влажности от 0 до 95%, температуры от минус 10°C до +50°C;
  - наличие функции самотестирования;
  - проверка механической прочности места сварки растягивающим усилием 200 г и дополнительным тестом 440 г;
  - наличие интерфейса для связи с компьютером;
  - наличие удобных подсказок для оператора (HELP);
  - наличие защиты от ветра: допустимая максимальная скорость ветра 15 м/с.
- Аппарат сварки FSM-50S рекомендуется упаковать:
  - съемной аккумуляторной батареей BTR-06S;
  - шнуром для зарядки батареи DCC-10;
  - съемным адаптером питания от внешнего источника ADC-11;

- шнуром питания от внешнего источника постоянного тока - АСС-хх;
  - запасными электродами ELCT-20А;
  - верхней крышкой ТС-03А;
  - приемным лотком сваренных волокон JP-03А;
  - прецизионным скалывателем волокон СТ-30А;
  - стриппером для снятия покрытия волокон диаметром 0,25 мкм: PS-02;
  - стриппером для снятия покрытия волокон диаметром 0,9 мкм: HJS-02;
  - дозатором для спирта HR-1;
  - термоусаживаемыми трубками FP-03/03(40мм) и FP501 -250-20/25/34;
  - кейсом для переноса СС-12.
- Персонал, производящий работы по сварке ОВ, должен пройти обучение для допуска к работе с имеющимися аппаратами, а также должен знать и выполнять правила техники безопасности, инструкции по работе со сварочным оборудованием, покрытия и очистки ОВ.
  - Перед началом сварки необходимо правильно выбрать встроенную программу сварки для волокон, подлежащих сварке. В случае затруднений с выбором программы сварки рекомендуется обратиться на завод-изготовитель оптического кабеля или в сервис-центр по продаже и обслуживанию аппаратов сварки.
  - В полевых условиях не рекомендуется осуществлять подбор режимов сварки персоналом, осуществляющим сварку. Современные аппараты FSM-50S и FSM-40S (предыдущая модель сварочного аппарата, в больших количествах поставленная на российский рынок) представляют собой сложные устройства, не предусматривающие вмешательство неподготовленного персонала в настройку параметров управляющих программ. Подбор режимов может быть грамотно выполнен только в специально оснащенных технических центрах.
  - Рекомендации по сколу волокна: Скол необходимого качества (угол скола меньше  $0,5^\circ$ ) обеспечивается состоянием (износом) скалывателя и его правильной заводской настройкой. Ресурс современных скалывателей типа СТ составляет более 30 000 сколов. В случае повторяющихся затруднений с получением качественного скола следует заменить скалыватель на заведомо исправный.
  - Аппараты FSM-50S и FSM-40S имеют функции расчета оценки потерь сварного соединения, которая позволяет рассчитать очень точные результаты для однотипных волокон. Однако в случае разнотипных волокон оценка результатов сварки может оказаться неверной, хотя сама сварка выполнена правильно. Для оценки затухания в месте сварки используются оптические рефлектометры. Надо только иметь в виду, что оптические рефлектометры измеряют не собственно затухание, а связанную с ним величину обратного рэлеевского отражения, по которой прибор и рассчитывает затухание.

#### **5.4. Опыт применения оптических волокон фирмы "Fujikura" на волоконно-оптических сетях связи России**

Начиная с 1994 года, волокна фирмы "Fujikura" широко применяются на волоконно-оптических сетях связи России. Весь российский опыт применения этих волокон показывает их высокую надёжность, а также стабильность параметров как временную, так и при воздействии внешних воздействующих факторов.

Волокна фирмы "Fujikura" широко используются в кабелях, которые применяются на всех сегментах сетей связи России. На магистральной сети ОАО "Ростелеком" уже в 1995 году была построена ВОЛС "Москва - Санкт-Петербург" на кабелях с волокнами G.652 фирмы "Fujikura". В 2003 году на части волокон этой ВОЛС вместо аппаратуры SDH-систем 2,5 Гбит/с успешно введены системы со спектральным уплотнением DWDM (8 каналов по 2,5 Гбит/с).

Волокна фирмы "Fujikura" использованы в кабелях, на которых построены международные ВОЛС "Россия-Белоруссия", "Россия-Украина", оборудованные системами передачи SDH 2,5 Гбит/с.

В 1999 году построена ВОЛС магистральной сети ОАО "Ростелеком" "Пермь-Ижевск", где впервые использованы кабели, в которых наряду с волокнами G.652 фирмы "Fujikura" использованы волокна G.655 с ненулевой смещенной дисперсией NZDSF.

На внутризоновых сетях России кабели с волокнами фирмы "Fujikura" представлены очень широко (особенно в Центральном, Уральском и Сибирском федеральных округах). Во всех случаях междугородные ВОЛС с кабелями, в которых использованы волокна фирмы "Fujikura", отличаются высокое качество связи и отсутствие отказов по причине дефектов волокон или некачественных сварок волокон фирмы "Fujikura".

На волоконно-оптических линиях связи воздушных высоковольтных линий электропередачи (ВОЛС-ВЛ) волокна фирмы "Fujikura" впервые широко применены на ВОЛС-ВЛ "Новосибирск-Хабаровск". Часть волокон кабелей в грозотросе этой ВОЛС-ВЛ вошла в состав магистральной сети ОАО "Ростелеком" (1996-1998 годы), а остальная часть волокон - в состав ведомственной сети ОАО "ФСК ЕЭС". При этом кабели в грозотросе (OPGW) были изготовлены на фирмах "Alcoa Fujikura" (США) и "Fujikura" (Япония). Экстремальные климатические условия в зоне подвески указанной ВОЛС-ВЛ не снизили показателей надёжности и живучести использованных волокон фирмы "Fujikura" на всем протяжении ВОЛС-ВЛ в 3600 км.

На местных сетях связи кабели с волокнами фирмы "Fujikura" используются очень широко. При этом в зависимости от назначения сетей фирмой "Fujikura" поставляется весь спектр волокон, рекомендуемых МСЭ-Т: это волокна с "низким или нулевым пиком воды" (G.652 C,D), волокна с ненулевой смещенной дисперсией (G.655) и другие.

Волокна фирмы "Fujikura" очень хорошо зарекомендовали себя в самонесущих оптических кабелях для подвески на воздушных опорах линий электропередачи, осветительной сети, опорах контактной сети. В таких конструкциях проявляются такие отличительные свойства волокон фирмы "Fujikura", как стабильность параметров во всём диапазоне изменения параметров воздействия внешних факторов.

Всё большее применение волокна фирмы "Fujikura" находят в оптических кабелях для внутриобъектовых волоконно-оптических сетей связи. Вновь разработанные типы волокон фирмы "Fujikura" такие, например, как SR15, SR15E отвечают самым жестким требованиям по допустимым изгибам волокон при установочных и монтажных работах.

Во всех случаях оптические волокна фирмы "Fujikura" зарекомендовали себя как волокна с исключительно стабильными параметрами при воздействии различных внешних факторов.

## **6. Список литературы**

6.1. ОСТ 45.01.96 - Нормы единые унифицированные на параметры элементарных кабельных участков волоконно-оптических систем передачи городских сетей связи.

6.2. Нормы приемо-сдаточных измерений элементарных кабельных участков магистральных и внутризоновых подземных волоконно-оптических линий передачи сети общего пользования.- М.: ГК РФ по связи и информатизации, 1997 г.

6.3. РД 45.19-2002 - Использование оптических кабелей с оптическими волокнами различных фирм на элементарном кабельном участке волоконно-оптической линии передачи. Рекомендации отрасли.- М.: Минсвязи, 2002 г.

6.4. Руководство по строительству линейных сооружений магистральных и внутризоновых сетей связи. - М.: "Радио и связь", 1986 г.

6.5. Руководство по строительству по строительству линейных сооружений местных сетей связи. -М.: ССКТБ, 1995 г.

6.6. Руководство по прокладке, монтажу и сдаче в эксплуатацию волоконно-оптической линии связи магистральных сетей. - М.: ССКТБ, 1995 г.

6.7. Руководство по прокладке, монтажу и сдаче в эксплуатацию волоконно-оптических линий связи внутризоновых сетей (линейно-кабельные сооружения). - М.: ССКТБ, 1987 г.

6.8. ГОСТ Р МЭК 793-1-91. Волокна оптические. Общие технические условия.

6.9. Рекомендации МСЭ-Т G.652. Характеристики одномодового оптического волокна и кабеля. 2001 г.

6.10 Рекомендации МСЭ-Т G.655. Характеристики одномодового оптического волокна с ненулевой смещённой дисперсией и кабеля. 2001 г.

6.11. Рекомендации МСЭ-Т G.650. Определения и методы измерений параметров в оптических волокон и кабелей. 2001 г.

6.12. И.Д. Карнаух, А.Н. Наумов. Новое поколение стандартных одномодовых волокон. - Фотон-экспресс, №3, 2003 г. с.25-26.

6.13. R.K. Boncek, J. Hartpence, Y. Qion and T. Liang. Ensuring Low Splice Loss With Higt Quality Fibers. (Снижение потерь при сращивании в

результате применения высококачественных оптических волокон) Fitel USA Corp., 2003г.

6.14. С.Н. Песков, А.И. Барт, И.А. Колпаков. Эффект бриллюэновского рассеяния в оптических сетях. - [www.Konturm.ru](http://www.Konturm.ru) (23.08.2005).

6.15. С.Н. Песков, А.И. Барт, И.А. Колпаков. Нелинейные модуляционные эффекты в оптических волокнах. - [www.Konturm.ru](http://www.Konturm.ru) (8.11.2005 г.).

6.16. H.J. Thiele, L.E. Nelson, S.K. Das, K. Maskawa, M. Funabashi. Увеличение пропускной способности линий связи CWDM до 100 Гбит/с с использованием отдельных каналов 10 Гбит/с и наложения DWDM - [www.ofsoptics.com](http://www.ofsoptics.com).

6.17. Ларс Грюнер - Нильсен. Компенсация дисперсии: методы и системные требования. - [www.ofsoptic.com](http://www.ofsoptic.com).

6.18. Р.К. Бонсек, А. Маккрузи, А. Сарбо. Отслеживание поляризационной модовой дисперсии от оптического волокна к кабелю. - - [www.ofsoptic.com](http://www.ofsoptic.com).

6.19. Р.К. Бонсек, А. Маккрузи, А. Сорби. Поляризационная модовая дисперсия в вопросах и ответах. - - [www.ofsoptic.com](http://www.ofsoptic.com)

6.20. П. Дикинсон. Грубое спектральное мультиплексирование (CWDM) получает новый импульс для применения в больших городах. - - [www.ofsoptic.com](http://www.ofsoptic.com)

6.21. Д.Е. Джорж. Аспекты проектирование оптических систем для сетей FTTP. - - [www.ofsoptic.com](http://www.ofsoptic.com).

6.22. М.С. Росси, С. Рейс. Оптимизация затрат на кабельные системы в сетях FTTP. - - [www.ofsoptic.com](http://www.ofsoptic.com).

6.23. Волоконная оптика. Сб.статей - Оптиктелекомкомпект. - М., "Вико", 2005 г.

6.24. L.N. Allen. Transmission Effekt Due mo Mode - Field Diameter Mismatch. - Bellcore, 10.02.1998 г.

6.25. А.И. Микилев, М.И. Павлычев. "Затухание А-Б" или к вопросу об оценке качества сварки ОВ рефлектометром. - Фотон-экспресс, №5, 2006 г., с.30-31.

6.26. А.М. Меккель. Архитектура оптической транспортной сети. - Фотон-экспересс, №7-8, 2004 г. с.38-40.

6.27. А.М. Меккель. Зачем нужна оптическая транспортная сеть. - Фотон-экспресс, №2, 2004 г., с.8-9.

- 6.28. Л. Бараш. Оптическая транспортная сеть. - [www.readonline.com](http://www.readonline.com).
- 6.29. Ф. Юнг, А.А. Гоголь, Г.Г. Янковский. Перспективы развития и инфокоммуникаций - Фотон-экспресс, №1, 2005 г. с.26-28.
- 6.30. С.С. Коган. Решения Alcatel для интеллектуальной оптической магистральной транспортной сети. - Фотон-экспресс, №7-8, 2004 г., с. 42-45.
- 6.31. И.И. Петренко, Р.Р. Убайдулаев. Пассивные оптические сети PON. - Фотон-экспресс, №1, 2005 г., с.14-18.
- 6.32. Е.Б. Алексеев. NG оптические технологии на сетях связи операторов.- Фотон-экспресс, №7, 2005 г. с.26-28.
- 6.33. А.М. Меккель. Интерфейсы оптической транспортной сети. - Фотон-экспресс, №4, 2004 г. с.24-25.