

МИНИСТЕРСТВО ЦИФРОВОГО РАЗВИТИЯ,
СВЯЗИ И МАССОВЫХ КОММУНИКАЦИЙ РФ
Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«ПОВОЛЖСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ТЕЛЕКОММУНИКАЦИЙ И ИНФОРМАТИКИ»

Кафедра линий связи и измерений в технике связи

Д.Е. ПРАПОРЩИКОВ

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДЛИНЫ
РЕГЕНЕРАЦИОННОГО УЧАСТКА ВОЛП**

Контрольная работа по дисциплине
«Проектирование, строительство и эксплуатация
оптических сетей связи»

Самара
2022

1. Постановка задачи

Задачей данной работы является расчет максимально-допустимого, минимально-допустимого и среднего значений длины регенерационного участка (РУ) волоконно-оптической линии передачи (ВОЛП) без компенсаторов дисперсии и линейных оптических усилителей (ОУ), работающей по одномодовому ступенчатому оптическому волокну (ОВ) на одной оптической несущей без чирпа.

2. Исходные данные

Исходными данными для решения поставленной задачи являются параметры волоконно-оптической системы передачи (ВОСП), к которым относятся скорость передачи линейной кодовой последовательности, уровень мощности оптического излучения лазера, центральная длина волны, ширина линии излучения лазера, уровень чувствительности приемника, полоса пропускания приемника.

Исходные данные к **индивидуальному** заданию определяются следующим образом.

Скорость передачи в оптической линии принимается равной $B = 155$ Мбит/с, что соответствует STM-1 оптической системы передачи синхронной цифровой иерархии (SDH).

Уровень мощности оптического излучения лазера определяется как

$$p_0 = \frac{6 \cdot m}{10} - 1, \text{ дБм} \quad (1)$$

Уровень чувствительности приемника определяется как

$$p_R = -34 + \frac{22 \cdot n}{10}, \text{ дБм} \quad (2)$$

Таблица 1

Номер зачетной книжки		
Последняя цифра номера зачетной книжки	n	
Предпоследняя цифра номера зачетной книжки	m	
Число, составленное из двух последних цифр номера зачетной книжки	mn	
Сумма всех цифр номера зачетной книжки	Sum	
Наименование параметра	Условное обозначение	Значение
Скорость передачи в линии	B , Мбит/с	155
Уровень мощности оптического излучения лазера	p_0 , дБм	
Уровень чувствительности приемника	p_R , дБм	
Центральная длина волны	λ_c , нм	
Ширина линии излучения лазера	$\Delta\lambda$, нм	
Марка ОВ		

Для определения центральной длины волны следует воспользоваться следующей формулой

$$\lambda_c = 1260 + \frac{415 \cdot mn}{100}, \text{ нм} \quad (3)$$

При этом ширина линии излучения лазера определяется следующим образом

$$\Delta\lambda = \begin{cases} 2 + s & , (p_0 - p_R) < 20 \\ 0,1 \cdot (2 + s) & , (p_0 - p_R) \geq 20 \end{cases} \quad (4)$$

$$s = \begin{cases} 1 & , Sum - \text{четное число} \\ -1 & , Sum - \text{нечетное число} \end{cases}$$

Здесь Sum – сумма всех цифр номера зачетной книжки.

Исходные данные занесите в таблицу 1.

2. Расчет параметров передачи оптических волокон

2.1 Выбор и обоснование ОВ

Тип одномодового ступенчатого оптического волокна выбирается из волокон, данные которых представлены в приложении 1 к настоящей методической разработке или из других источников (справочников, монографий, сайтов фирм производителей и поставщиков ОВ и ОК, технических журналов, учебников и учебных пособий и т.п.), библиографическая ссылка на которые обязательна. Дайте обоснование выбора.

Технические характеристики выбранного типа ОВ кабеля занесите в таблицу 2.

Таблица 2

Марка ОВ		
Наименование параметра	Усл. Обозн.	Значение
Максимальное затухание на опорной длине волны $\lambda_{SO}=1300$ нм	α_{SO} , дБ/км	
Максимальное затухание на опорной длине волны $\lambda_{SC}=1550$ нм	α_{SC} , дБ/км	
Максимальное затухание на опорной длине волны $\lambda_{SE}=1383$ нм (на длине волны «водяного» пика)	α_{SE} , дБ/км	
Максимальный прирост затухания в рабочем диапазоне при изменении температуры	$\Delta\alpha_t$, дБ/км	
Длина волны нулевой дисперсии	λ_0 , нм	
Параметр наклона спектральной характеристики дисперсии оптического волокна в точке нулевой дисперсии	$S_0, \frac{ps}{nm^2 \cdot km}$	
Максимальное значение поляризационной модовой дисперсии	$PMD, \frac{ps}{\sqrt{km}}$	

2.2 Оптические потери в одномодовых волокнах.

Типичная характеристика затухания кварцевого оптического волокна и ее эволюция с развитием технологии производства волокон представлена на рис. 1.

К фундаментальным факторам потерь относятся механизмы поглощения и рассеяния. Основной вклад вносят потери за счет релеевского рассеяния и инфракрасного поглощения. До недавнего времени существенный вклад вносили потери, обусловленные поглощением на примесях – в основном на примесях гидроксильной

группы **ОН**. Эти потери носят резонансный характер. Дополнительные факторы потерь в оптических волокнах – это потери, вызванные микро- и макроизгибами волокна, потери, обусловленные флуктуациями диаметра сердцевины волокна (границы сердцевина-оболочка). Эти потери нередко называют кабельными.

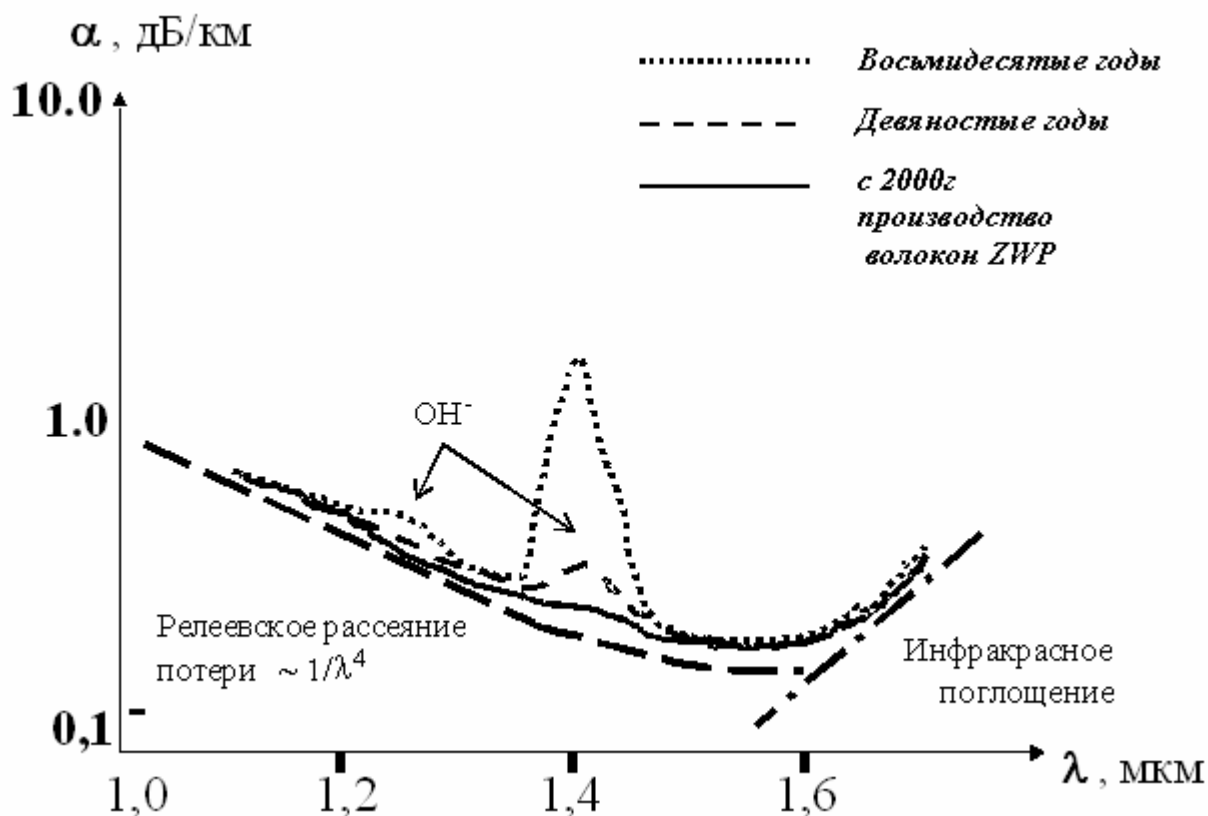


Рис. 1

В области малых длин волн затухание кварцевого оптического волокна определяется в основном релеевским рассеянием и уменьшается с увеличением длины волны. Релеевское рассеяние обусловлено флуктуациями показателя преломления материала сердцевины вдоль волокна и по его сечению, что приводит к рассеянию света на случайных изменениях показателя преломления. Часть рассеянного светового потока образует поток обратного релеевского рассеяния, распространяющийся к источнику излучения, часть - попутный поток, направление распространения которого совпадает с направлением распространения полезного сигнала, а часть уходит в оболочку. Потери за счет релеевского рассеяния изменяются по закону /11,16/

$$\alpha_{RR} = \frac{C_{RR}}{\lambda^4}, \quad (1)$$

где λ - длина волны, нм;

C_{RR} – постоянная, которая зависит от состава материала сердцевины волокна и лежит в пределах $C_{RR} = 6,3 \cdot 10^{11}$ нм⁴·ДБ/км.

В области длин волн более 1,5 – 1,8 мкм начинают проявляться потери из-за инфракрасного поглощения в кварце, вызванного резонансами атомов в кристаллической решетке SiO₂. Изменение затухания инфракрасного поглощения описывается формулой /11,16/

$$\alpha_{ИКП} = C_{ИКП} \cdot \exp\left(-\frac{k_{ИКП}}{\lambda}\right), \quad (2)$$

где $C_{ИКП}$ и $k_{ИКП}$ – постоянные коэффициенты, которые для чистого кварца составляют порядка $C_{ИКП} = 0,9$ дБ/км, $k_{ИКП} = 0,8$ мкм.

Поглощения на примесях связаны с резонансами материала примеси. В частности, поглощением на примеси гидроксильной группы **ОН** определяются пики потерь в областях длин волн 1383; 1240; 1130; 950; 875; 825 и 725 нм /7/. Этот тип потерь зависит от технологии изготовления волокна.

С разработкой более совершенных методов очистки материала кварцевого стекла от примесей и способов защиты от формирования примесей гидроксильной группы в стекле в дальнейшем были получены оптические волокна с пониженным водяным пиком (LPW – low water peak) или, как их еще называют, волокна с нулевым водяным пиком (ZWP – zero water peak). К волокнам этой группы относятся волокна AllWave (OFS) и SMF-28e (Corning). Потери для таких волокон на «водяном» пике уменьшены до 0,31 дБ/км, что меньше чем на длине волны 1310 нм (0,35 дБ/км).

Фундаментальные механизмы потерь определяют область минимального затухания и теоретический предел минимума потерь кварцевого волокна, который составляет около 0,15 дБ/км на длине волны 1550 нм. Однако достичь этот предел не

позволяют кабельные потери из-за микро- и макроизгибов волокна, флуктуаций его геометрических характеристик.

Диапазон работы ВОСП выбирается в области минимального затухания кварцевых оптических волокон и лежит в пределах 1260 -1675 нм. Выделяют шесть спектральных диапазонов, данные которых сведены в таблице 2 [6, 11]. Изменение затухания и дисперсии стандартизованного ОВ (рекомендации МСЭ-Т G.652) в этих диапазонах иллюстрирует рис. 2.

Таблица 3.

Условное обозначение	Наименование	Диапазон, нм
O	Основной (original)	1260-1360
E	Расширенный (expanded)	1360-1460
S	Коротковолновый (short)	1460-1530
C	Стандартный (conventional)	1530-1565
L	Длинноволновый (long)	1565-1625
U	Сверх-длинноволновый (ultra-long)	1625-1675

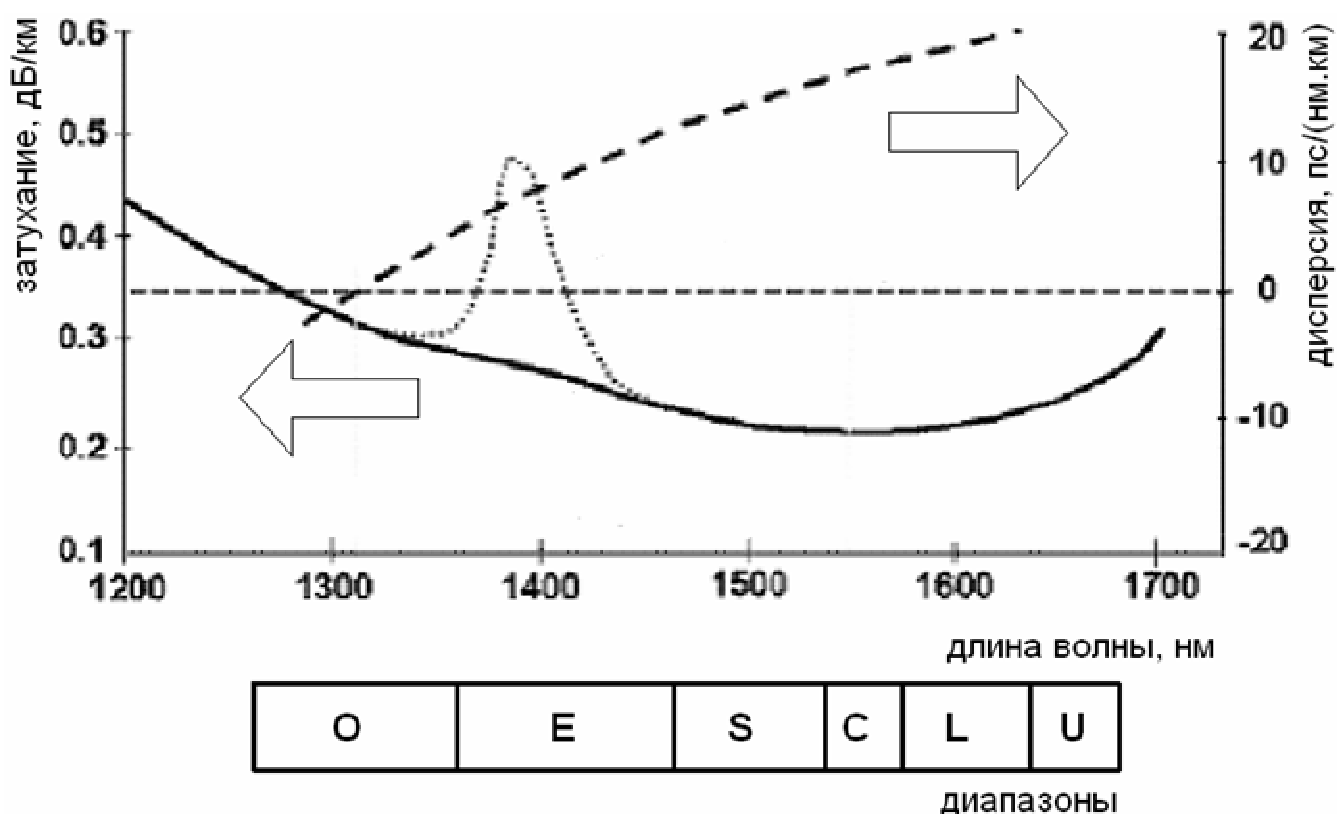


Рис. 2

Сегодня на местных сетях в основном работают в диапазоне О, а на магистральных в диапазонах С и L, где можно использовать оптические усилители на легированных эрбием волокнах EDFA (erbium doped fiber amplifier). Однако в последние годы с внедрением систем «грубого» спектрального уплотнения (CWDM) начинают осваиваться все диапазоны.

2.3 Дисперсионные характеристики одномодовых оптических волокон.

Дисперсией оптических волокон называют увеличение длительности оптических импульсов при их распространении по оптическому волокну. Дисперсия обусловлена тем, что отдельные составляющие оптического импульса распространяются с разной скоростью. Дисперсия ОВ создает переходные помехи, ведет к межсимвольным искажениям и, как следствие, ограничивает скорость передачи в линии (длину регенерационного участка), что поясняет рис. 3.

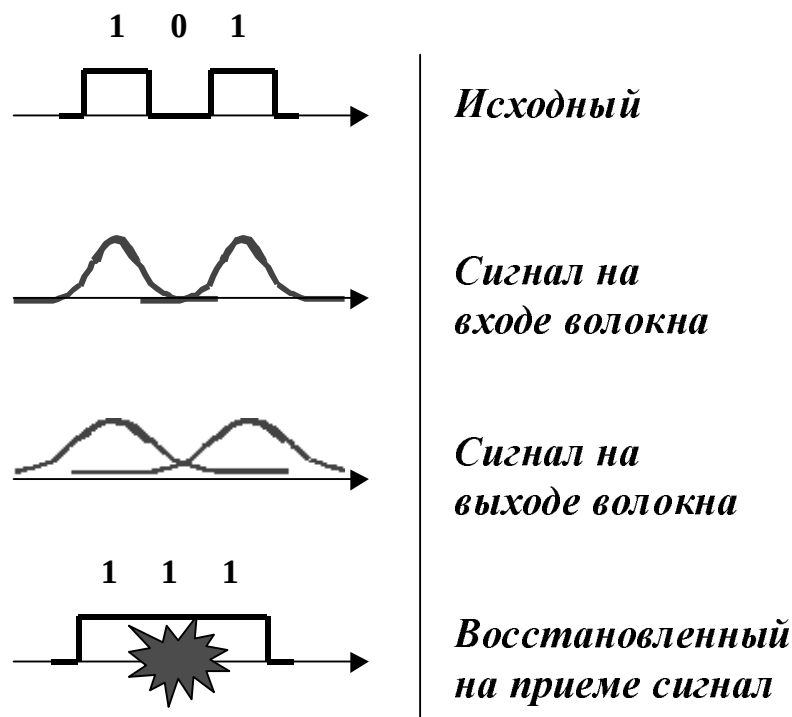


Рис. 3

Одномодовые оптические волокна характеризуются хроматической и поляризационной модовой дисперсией. **Хроматическая дисперсия** обусловлена конечной шириной линии излучения лазера и различием скоростей распространения отдельных спектральных составляющих оптического сигнала. Под хроматической дисперсией понимают изменение формы огибающей оптического сигнала, обусловленное зависимостями постоянной распространения моды оптического сигнала и показателя преломления оптического волокна от длины волны. Хроматическая дисперсия есть величина детерминированная. Она равна сумме материальной и волноводной дисперсии.

Материальная дисперсия обусловлена зависимостью показателя преломления материала сердцевины и оболочки от длины волны, которая, в свою очередь, вызывает изменения с длиной волны скорости распространения. Из известных из физики соотношений следует $v_g(\lambda) = c/n(\lambda)$. **Волноводная дисперсия** обусловлена спектральной зависимостью скорости передачи, характер которой определяется профилем показателя преломления оптического волокна. Изменяя профиль показателя преломления, можно соответственно изменить спектральную характеристику хроматической дисперсии. Спектральная характеристика дисперсии в стандартного одномодового ступенчатого оптического волокна сопоставлении с со спектральной характеристикой потерь для стандартного одномодового ступенчатого оптического волокна (SSF – standard step index fiber), оптимизированного согласно рекомендациям МСЭ-Т (ITU-T) G. 652 для работы в диапазоне О, приведена на рис.2. На рис. 4 представлены типичные спектральные характеристики волноводной и материальной дисперсии волокна SSF. Изменение хроматической дисперсии в области точки нулевой хроматической дисперсии и физический смысл ее отрицательных и положительных значений поясняет рис. 5.

В качестве характеристик хроматической дисперсии оптических волокон используют коэффициент хроматической дисперсии D , имеющий размерность пс/(нм.км), коэффициент наклона дисперсионной характеристики S_0 , имеющий размерность пс/(нм².км) и относительный коэффициент наклона дисперсионной харак-

теристики $RDS = S_0 / D$ с размерностью 1/нм. Последняя величина обратно пропорциональна полосе пропускания оптического волокна.

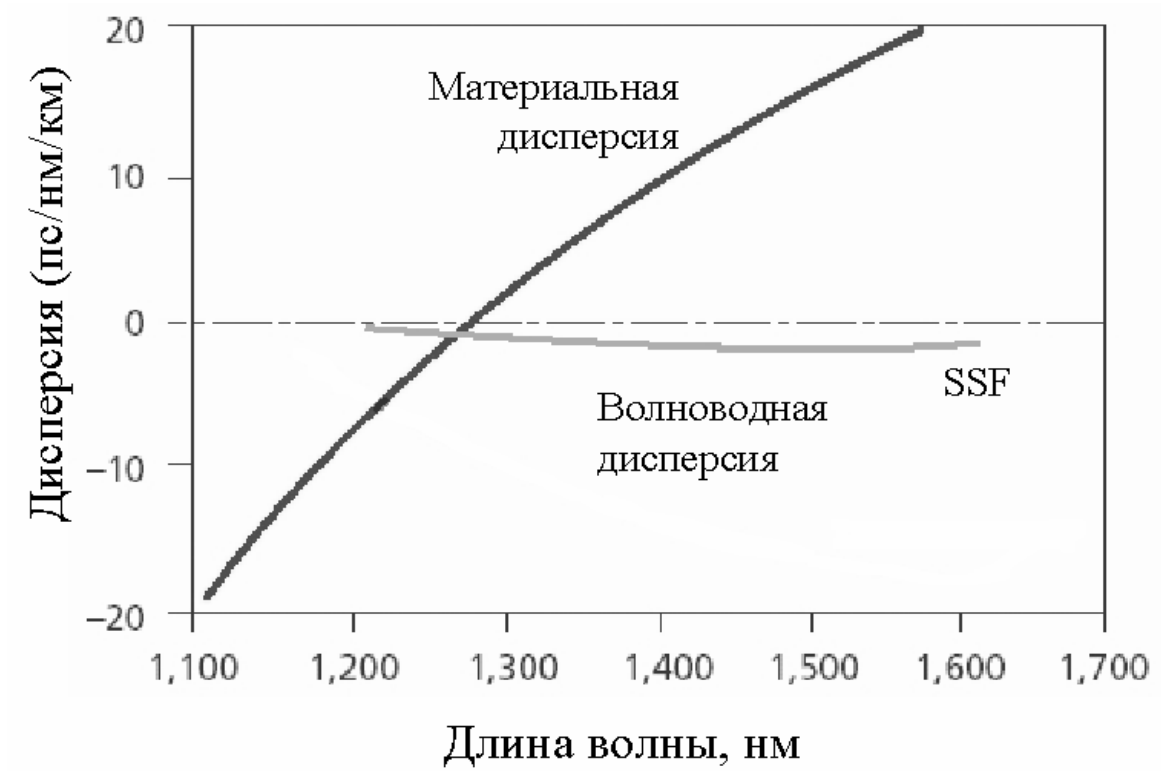


Рис. 10

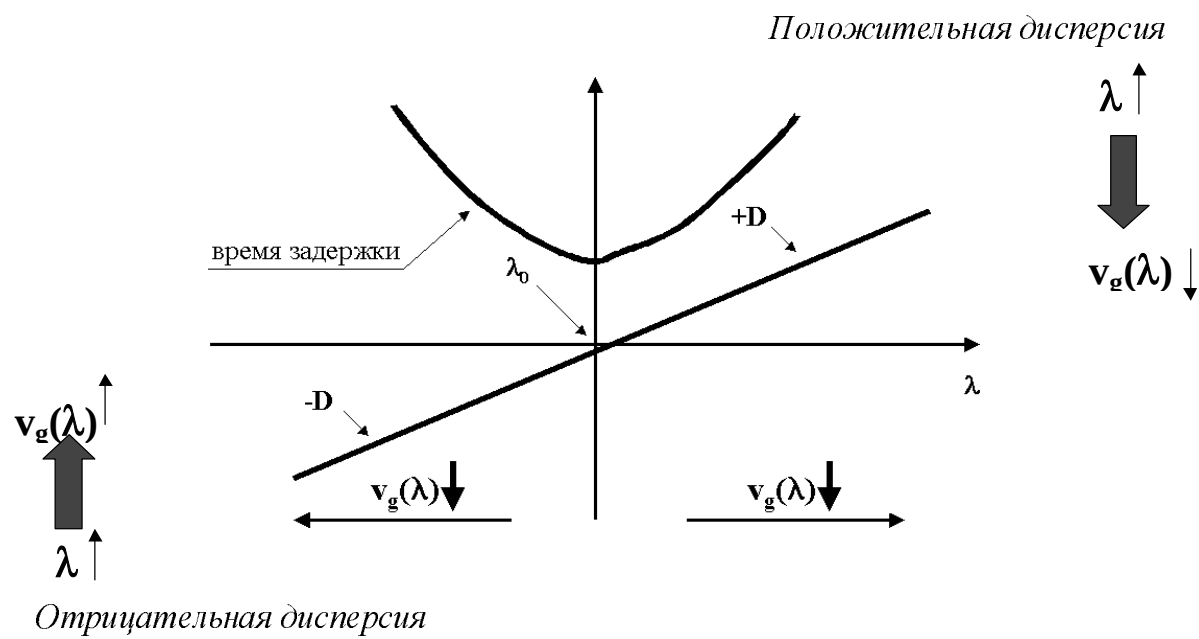


Рис. 5

Поляризационная модовая дисперсия (PMD - polarization mode dispersion) – величина случайная. Ее компенсировать значительно сложнее, чем хроматическую. Причина поляризационной модовой дисперсии - явление двулучепреломления, которое имеет место при нарушении круговой симметрии геометрических характеристик или внутренних механических напряжений ОВ. Как следствие в волокне образуются «быстрая» и «медленная» оси, вдоль которых моды ортогональной поляризации распространяются с разной скоростью и, соответственно, приходят к концу некоторого отрезка оптического волокна в разное время (рис. 6). Другими словами, моды разной поляризации приходят с определенной задержкой относительно друг друга (DGD - differential group delay).

Однако, оптические волокна нерегулярны. Конструктивные характеристики и механические напряжения флуктуируют вдоль волокна случайным образом. Это определяет случайный характер связей мод отдельных отрезков волокна вдоль протяженной линии передачи, что и приводит к уширению импульса (рис. 7). Случайный характер изменений вдоль линии определил зависимость коэффициента поляризационной модовой дисперсии от длины и его размерность ($\text{пс/км}^{1/2}$):

$$\langle \text{DGD} \rangle / \sqrt{L}, \quad (3)$$

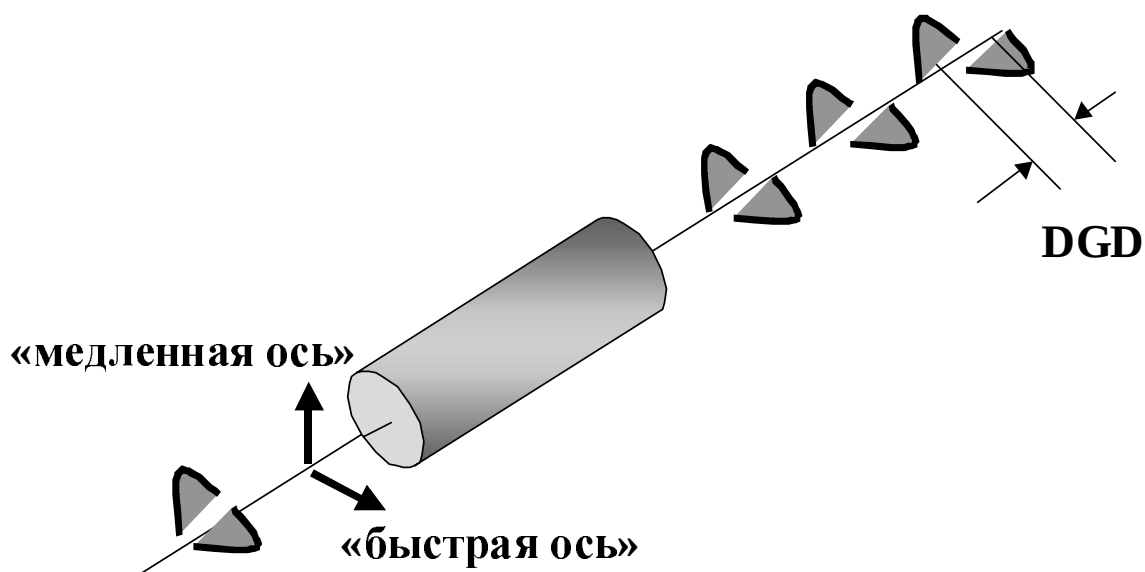


Рис. 6

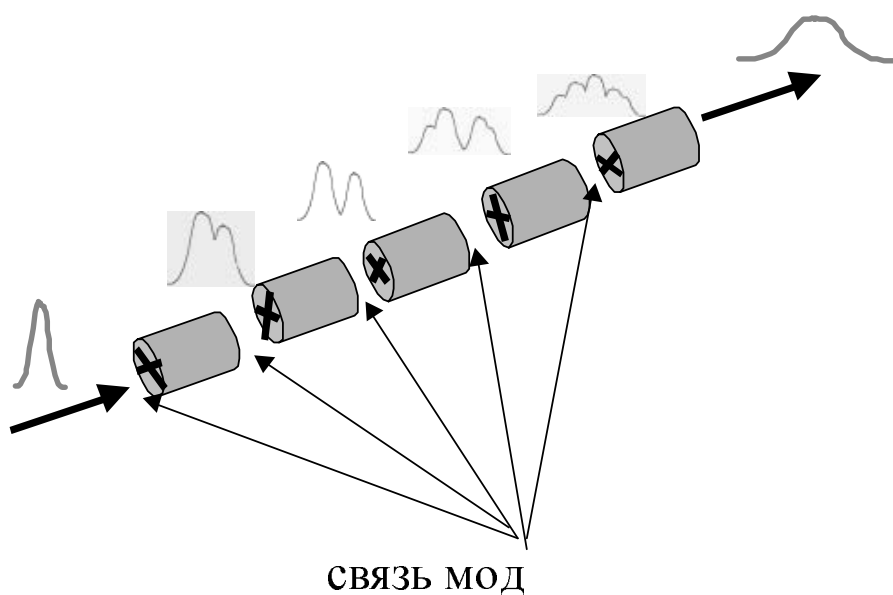


Рис. 7

2.4 Нелинейные явления.

Нелинейные явления проявляются с увеличением интенсивности оптического излучения в волокнах, и их действие возрастает при увеличении оптической мощности, передаваемой в волокне, и уменьшении эффективной площади сечения волокна. К ним относится вынужденное комбинационное рассеяние - бриллюэновское и рамановское, собственная фазовая модуляция, перекрестная фазовая модуляция и четырехволновое смешение..

2.5 Методика расчета затухания и дисперсии ОВ

Определите рабочий спектральный диапазон, в котором лежит центральная длина волны.

Среднее значение затухания оптического волокна на центральной длине волны определяется как сумма

$$\bar{\alpha} = \alpha_{RR} + \alpha_{IR} + \alpha_{OH} \quad (4)$$

Составляющая затухания ОВ вследствие релеевского рассеяния - α_{RR} , рассчитывается по формуле (1). Составляющая затухания обусловленная инфракрасным поглощением рассчитывается по формуле (2). Составляющая вызванная поглощением на примеси гидроксильной группы **ОН** определяется по следующей формуле:

$$\alpha_{OH}(\lambda) = \frac{C_{OH}}{(\lambda - \lambda_{SE})^2 + \delta\lambda^2} \quad (5)$$

где λ - длина волны, на которой выполняется расчет, нм;

λ_{SE} - опорная длина волны диапазона Е (длина волны водяного пика), равная $\lambda_{SE}=1383$ нм.

Параметры C_{RR} и $\delta\lambda^2$ рассчитываются следующим образом:

$$\delta\lambda^2 = \frac{\Delta\alpha_{SX}}{\Delta\alpha_{SE} - \Delta\alpha_{SX}} \cdot (\lambda_{SX} - \lambda_{SE})^2 \quad (6)$$

$$C_{OH} = \Delta\alpha_{SE} \cdot \delta\lambda^2 \quad (7)$$

$$\Delta\alpha_{SX} = \alpha(\lambda_{SX}) - \alpha_{RR}(\lambda_{SX}) - \alpha_{IR}(\lambda_{SX})$$

где λ_{SX} - опорная длина волны, нм;

$\Delta\alpha_{SX}$ - составляющая затухания на опорной длине волны λ_{SX} , дБ/км.

Опорную длину волны λ_{SX} рекомендуется выбирать следующим образом. При $\lambda_C < \lambda_{SE}$, полагаем, что $\lambda_{SX} = \lambda_{SO} = 1310$ нм. При $\lambda_C > \lambda_{SE}$, полагаем, что $\lambda_{SX} = \lambda_{SC} = 1310$ нм.

Максимальное значение затухания оптического волокна на центральной длине волны рассчитывается по формуле

$$\alpha_{max} = \bar{\alpha} + \Delta\alpha_t \quad (8)$$

где $\Delta\alpha_t$ - максимальный прирост затухания при изменении температуры, дБ/км.

Параметр хроматической дисперсии стандартного ступенчатого волокна рассчитывается по формуле

$$D_{OB}(\lambda) = \frac{S_0}{4} \left(\lambda - \frac{\lambda_0^4}{\lambda^3} \right) \quad (9)$$

где λ_0 - длина волны нулевой дисперсии, нм;

λ_c - центральная длина волны, нм;

S_0 - параметр наклона спектральной характеристики дисперсии оптического волокна в точке нулевой дисперсии, пс/(нм²·км).

Результаты расчетов сведите в таблицу 4.

Таблица 4

Параметр	Усл. Обозн.	Значение
Максимальное значение затухания ОВ на центральной длине волны	$\alpha_{\text{макс}}$, дБ/км	
Среднее значение затухания ОВ на центральной длине волны	$\bar{\alpha}$, дБ/км	
Параметр хроматическая дисперсия ОВ на центральной длине волны	$D_{ОВ}, \frac{\text{пс}}{\text{нм} \cdot \text{км}}$	

3. Определение энергетического потенциала системы

Для характеристики бюджета мощности ВОСП вводят понятие энергетического потенциала (перекрываемого затухания), который определяется как допустимые оптические потери оптического тракта или ЭКУ между точками нормирования, при которых обеспечивается требуемое качество передачи цифрового оптического сигнала. Оптические потери обусловлены потерями на затухание и дополнительными потерями мощности, обусловленными влиянием отражений, дисперсии (хроматической и поляризационной модовой), модовых шумов и чирп-эффекта.

Энергетический потенциал рассчитывается как разность между уровнем мощности оптического излучения на передаче и уровнем чувствительности приемника

$$W = p_{\text{пер}} - p_{\text{пр}} \quad (10)$$

где W – энергетический потенциал (перекрываемое затухание), дБм;

$p_{\text{пер}}$ - уровень мощности оптического излучения передатчика ВОСП, дБм;

$P_{пр}$ - уровень чувствительности приемника, дБм.

Уровень мощности оптического излучения – это средняя мощность оптического излучения, выраженная в дБм. При этом, под средней мощностью оптического излучения понимают среднее значение мощности оптического излучения при модуляции оптической несущей цифровым сигналом. Уровнем чувствительности приемника называют минимальное значение уровня мощности оптического излучения в точке нормирования оптического тракта на приеме, при которых обеспечивается требуемое качество передачи цифрового оптического сигнала.

Приемник ВОСП характеризуется как уровнем чувствительности, так и уровнем перегрузки – максимальным значением уровня мощности оптического излучения в точке нормирования оптического тракта на приеме, при которых обеспечивается требуемое качество передачи цифрового оптического сигнала. Разность между уровнем перегрузки и уровнем чувствительности приемника ВОСП определяет пределы регулировки АРУ системы - ΔA . Типичное значение $\Delta A = 20$ дБм.

Результат расчета энергетического потенциала и предполагаемое значение пределов регулировки АРУ внесите в табл 5.

Таблица 5

Параметр	Усл. обозн.	Значение
Энергетический потенциал	W , дБм	
Пределы регулировки АРУ	ΔA , дБм	

4. Оптические кроссы и параметры разъемных соединений

Соединение линейного и станционного ОВ на оптическом кроссе выполняется с помощью оптических разъемов, которые состоят из вилок (коннекторов) и розеток (адаптеров). Штекерные наконечники коннекторов с двух сторон вставляют в розетку разъема, что и обеспечивает соединение волокон. Аналогично производится подключение волокон к активному оборудованию ВОСП, интерфейс которого включает

ответную часть розетки оптического разъема. Оптическими коннекторами окончиваются (армируются) оптические шнуры – оптические волокна со вторичными внешними защитными покрытиями. Шнуры, оконцованные с одной стороны, принято называть пигтейлами. Шнуры, оконцованные с двух сторон, называют патчкордами. Условная схема соединений линейного и станционного волокон на оптическом кроссе представлена на рисунке 10.

На сетях связи применяют в основном оптические разъемы типа FC и SC.

Вилочная часть разъема FC имеет керамический наконечник длиной диаметром 2,5 мм. Способ фиксации – резьбовой.

Вилочная часть разъема SC имеет керамический наконечник диаметром 2,5 мм. Способ крепления – защелка. Преимущество разъемов SC – высокая надежность при реализации оперативного подключения, а также возможность формирования сборок.

На сегодняшний день активное оборудование ВОСП комплектуется в основном оптическими разъемами типа SC и, вместе с тем, подавляющее большинство оптических кроссов сетей связи укомплектовано оптическими разъемами типа FC. Однако следует отметить, что в последнее время и здесь начинают отдавать предпочтение разъемам типа SC.

Поскольку соединители должны вносить минимальные искажения в оптический тракт, то, в первую очередь, стараются минимизировать вносимые ими потери и неоднородности. Соответственно, к параметрам передачи оптических разъемов относят вносимые потери (затухание) и затухание отражения. Потери на разъемном соединении $A_{I,PC}$ определяются как разность уровней средней мощности оптического излучения на входе и выходе оптического разъема. Затухание отражения – это разность уровней мощности оптического излучения в точке нормирования оптического тракта на передаче и мощности оптического излучения, возвращающегося к этой точке, выраженная в дБм. Различают оптические разъемы типа FC/PC, SC/PC и FC/APC, SC/APC. Обозначение PC (physical contact) означает физический контакт торцов соединяемых волокон. Обозначение APC (angle physical contact) также подразумевает физический контакт торцов соединяемых волокон, но при этом скол (шлифовка)

торцов оптических волокон выполнена под углом 88 – 89 градусов. Такой угол обеспечивает при незначительном увеличении потерь в соединении значительное уменьшение неоднородности (увеличение затухания отражения).

Таблица 6

Параметр	Усл. обозн.	Тип	Значение
Максимальное значение потерь в разъемном соединении	$A_{I,PC}$, дБ	FC/PC, SC/PC	0,4
		FC/APC, SC/APC	0,5
Минимальное значение коэффициента отражений	A_{OTP} , дБ	FC/PC, SC/PC	40
		FC/APC, SC/APC	58
Максимальное число соединений		FC, SC	1000

К эксплуатационным характеристикам оптических разъемов относятся диапазоны температуры, давления, влажности, в которых обеспечивается нормальная работа разъемных оптических соединений, а также допустимое число соединений. Типичные характеристики оптических разъемов приведены в таблице 6.

5. Нормы приемо-сдаточных измерений ЭКУ

Потери на ЭКУ ВОЛП нормируются таким образом, чтобы разность между энергетическим потенциалом ВОСП и суммарными потерями оптической мощности на ЭКУ совместно со стационарными кабелями, которые включают и дополнительные потери, обусловленные влиянием отражений, дисперсии (хроматической и поляризационной модовой), модовых шумов и чирп-эффекта, была не менее допустимого эксплуатационного запаса. Эксплуатационный запас на ЭКУ определяется как сум-

ма эксплуатационного запаса на аппаратуру и эксплуатационного запаса на кабель.

Нормы на эксплуатационный запас приведены в таблице.

Таблица 7

Параметр	Усл. обозн.	Значение
Эксплуатационный запас аппаратуры	$A_{ЭЗА}$, дБ	3
Эксплуатационный запас кабеля	$A_{ЭКЗ}$, дБ	3
Максимальная погрешность измерения затухания на ЭКУ	δa , %	5

Абсолютное значение максимальной погрешности измерения затухания на ЭКУ выраженное в дБ, равно:

$$\Delta a = \delta a \cdot A_{ЭКУ} / 100 \quad (11)$$

Здесь $A_{ЭКУ}$ - суммарные измеряемые потери оптического линейного тракта на ЭКУ.

Поскольку для нормальной работы ВОЛП необходимо, чтобы выполнялось условие $A_{ЭКУ} < W$, в качестве оценки максимальной погрешности можно принять значение

$$\Delta a = \delta a \cdot W / 100 \quad (12)$$

Рассчитайте его.

Распределение потерь в неразъемных соединениях ЭКУ, определяемое для каждого оптического волокна по отдельности, должно соответствовать требованиям представленным в таблице 8.

Таблица 8

Длина волны	Максимально допустимые потери в неразъемных соединениях для	
	100% соединений - $A_{НС\max}$, дБ	50% соединений - $\bar{A}_{НС}$, дБ
1300 нм	0,2	0,1
1550 нм	0,1	0,05

7. Расчет длины элементарного кабельного участка ВОЛП

Элементарный кабельный участок (ЭКУ) – это вся физическая среда передачи между соседними окончаниями участка. Здесь под физической средой подразумевается совокупность оптического волокна линейного кабеля и его сростков в точках соединения строительных длин, оптического волокна станционных кабелей и их сростков с линейными оптическими волокнами, а также кроссовых оптических шнуров.

В соответствии с требованиями нормативно-технической документации /1/ определяют значения номинальной, минимальной и максимальной длины элементарного кабельного участка (ЭКУ). Эти длины ЭКУ определяются бюджетом мощности ВОСП, потерями и дисперсией оптического линейного тракта. Они рассчитываются по следующим формулам /1/

$$L_{НОМ} = \frac{W - A_{ЭЗА} - A_{РС} - A_{Д} + A_{НСмакс} - A_{ЭЗК} - \Delta a}{\alpha_{макс} + A_{НСмакс} / \bar{l}} \quad (13)$$

$$L_{МИН} = \frac{W - \Delta A - A_{РС} + \bar{A}_{НС}}{\bar{\alpha} + \bar{A}_{НС} / \bar{l}} \quad (14)$$

$$L_{МАКС} = \frac{W - A_{ЭЗА} - A_{РС} - A_{Д} - B \cdot \sqrt{L_{НОМ}} + \bar{A}_{НС} - A_{ЭЗК} - \Delta a}{\bar{\alpha} + \bar{A}_{НС} / \bar{l}} \quad (15)$$

Где

- W – энергетический потенциал системы передачи, дБ;
- $A_{ЭЗА}$ – эксплуатационный запас аппаратуры дБ;
- $A_{ЭЗК}$ – эксплуатационный запас кабеля, дБ;
- $A_{РС}$ – потери в разъемных соединениях, дБ;
- $A_{НСмакс}$ – максимальное значение потерь неразъемного соединения, дБ;
- $\bar{A}_{НС}$ – среднее значение потерь неразъемного соединения, дБ;
- $A_{Д}$ – эксплуатационный запас энергетического потенциала на дисперсию, учитываемый на регенерационных участках предельной длины с оптическими усилителями, дБ;
- ΔA – пределы регулировки АРУ, дБ;
- $\alpha_{макс}$ – максимальное значение коэффициента затухания ОВ, дБ/км;
- $\bar{\alpha}$ – среднее значение коэффициента затухания ОВ, дБ/км;

- $\bar{l}$ - средняя строительная длина ОК, км;
- $\bar{B}$ – параметр;
- $\Delta\alpha$ - погрешность измерения затухания, дБ.

Параметр $\bar{B}$ определяется по формуле

$$\bar{B} = \frac{3 \cdot 0.8}{2 \cdot \lambda^4 \cdot \sqrt{12}} \cdot \sqrt{1 + 1/\bar{l}} \quad (16)$$

Где λ - рабочая длина волны, мкм.

Строительная длина оптического кабеля, как правило, лежит в пределах от 1,0 км до 6,0 км. Ее среднее значение составляет 4,0 км.

Поскольку согласно условиям на регенерационном участке нет усилителей и компенсаторов дисперсии, то в первом приближении при расчете длины ЭКУ будем полагать $A_d = 0$ дБ.

Результаты расчетов максимального, минимальной и номинальной длин ЭКУ занесите в таблицу 9.

Таблица 9.

Рассчитываемая величина	Усл. обозн.	Значение
Параметр ЭКУ	$\bar{B}$	
Номинальная длина ЭКУ	$L_{НОМ}$, км	
Минимальная длина ЭКУ	$L_{МИН}$, км	
Максимальная длина ЭКУ	$L_{МАКС}$, км	

Литература

1. ОСТ 45.190-2001 Системы передачи волоконно-оптические. Стыки оптические. Термины и определения. – М.: Издание официальное, ЦНТИ «ИНФОРМСВЯЗЬ», 2002.- 14с.
2. Нормы приемо-сдаточных измерений элементарных кабельных участков магистральных и внутризоновых подземных волоконно-оптических линий передачи сети общего пользования. Утверждены приказом Госкомсвязи России №97 от 17.12.97.
3. Рекомендация G957 МСЭ-Т Оптические стыки для аппаратуры и систем передачи, относящихся к синхронной цифровой иерархии.
4. Рекомендация G651 МСЭ-Т Оптические стыки для одноканальных систем с оптическими усилителями.
5. Рекомендация G652 МСЭ-Т Характеристики одномодовых волоконно-оптических кабелей.
6. Гринфилд Д. Оптические сети. – К.: ООО «ТИД «ДС», 2002. – 256 с.
7. Слепов Н. Н. Современные технологии цифровых оптоволоконных сетей связи. – М.: Радио и Связь, 2000. -468 с.
8. Убайдуллаев Р.Р. Волоконно-оптические сети.-М.: Эко-Трендз, 1998.
9. Складов О. К. Современные волоконно-оптические системы передачи, аппаратура и элементы. – М.: СОЛОН-Р, 2001. – 237 с.
10. Воронцов А. С., Гурин О. И., Мифтяхетдинов С. Х., Никольский К. К., Питерских С. Э. Оптические кабели связи российского производства. Справочник. – М.: Эко-Трендз, 2003. – 288 с.
11. Листвин А. В., Листвин В. Н., Швырков Д. В. Оптические волокна для линий связи. – М.: ЛЕСАРарт, 2003. – 288 с.
12. Стерлинг Д. Дж. Техническое руководство по волоконной оптике. - М.: ЛОРИ, 1998.
13. Иванов А.Б. Волоконная оптика: компоненты, системы передачи, измерения.-М.: САЙРУС СИСТЕМС, 1999.

14. Kartalopoulos S. V. Introduction to DWDM technology. Data in a Rainbow.- USA.: SPIE optical engeneering press, IEEE press.- 2000.- p.252.
15. Кабели, провода и материалы для кабельной индустрии: технический справочник /Составление и редактирование: Кузнецов В.Ю., Крехова О.В. – М.: Нефть и газ, 1999, 304с.
16. Волоконно-оптические системы передачи и кабели. Справочник / Гроднев И.И., Мурадян А.Г., Шарафутдинов Р.М. и др. –М.: Радио и связь, 1993.-264с.
17. Гауэр Дж. Оптические системы связи.-М.: Радио и связь,1989.-504с.
18. Слепов Н.Н. Параметры промышленных одномодовых оптических волокон // Вестник связи, 1999, №11.
19. Оптические системы передачи: Учебник для ВУЗов / Б.В. Скворцов, В.И. Иванов, В.В. Крухмалев и др.; Под ред. В.И. Иванова. – М.: Радио и связь, 1994.-224с.

Приложение 1

Основные термины и определения

Представленные ниже определения базируются в основном на утвержденных нормативных документах [1 - 5].

Волоконно-оптическая система передачи(ВОСП) – система передачи, в которой все виды сигналов передаются по волокнам оптического кабеля.

Оптический канал – комплекс технических средств и среды распространения, обеспечивающий передачу оптического сигнала в диапазоне длин волн, характерном для данного канала.

Оптический стык – совокупность технических средств и правил, обеспечивающих взаимодействие последовательно соединенных компонентов ВОСП.

Оптическая цепь – совокупность компонентов ВОСП, соединенных таким образом, чтобы обеспечить передачу оптического сигнала между ними.

Оптический полюс – место ввода или вывода оптического излучения в компонент.

Оптический тракт – участок оптической цепи между последовательно соединенными передатчиком и приемником ВОСП без оптических усилителей.

Элементарный кабельный участок (ЭКУ) – вся физическая среда передачи между соседними окончаниями участка. Здесь под физической средой подразумевается совокупность оптического волокна линейного кабеля и его сростков в точках соединения строительных длин, оптического волокна станционных кабелей и их сростков с линейными оптическими волокнами, а также кроссовых оптических шнуров.

Окончание участка (элементарного кабельного) – граница, выбранная произвольно в качестве стыка оптического волокна с регенератором (усилителем).

Точка нормирования – точка оптического тракта, в которой нормируются параметры оптического стыка. В частности, нормирование оптического стыка осуществляется на передаче оптического тракта (точка Пд или точка S) и на приеме оптического тракта (точка Пр или точка R).

Передатчик ВОСП – совокупность передающего оптоэлектронного модуля с дополнительными устройствами преобразования электрического сигнала.

Приемник ВОСП – совокупность приемного оптоэлектронного модуля с дополнительными устройствами преобразования электрического сигнала.

Оптический кабель (ОК) – кабельное изделие, содержащее одно или несколько оптических волокон, объединенных в единую конструкцию, обеспечивающую их работоспособность в заданных условиях эксплуатации.

Станционный оптический кабель – ОК, предназначенный для соединения компонентов ВОСП в оптической цепи на станции.

Линейный оптический кабель – ОК, предназначенный для соединения компонентов ВОСП в оптической цепи между станциями.

Перекрываемое затухание – допустимые оптические потери оптического тракта или ЭКУ между точками нормирования, при которых обеспечивается требуемое

качество передачи цифрового оптического сигнала. Оптические потери обусловлены потерями на затухание и дополнительными потерями мощности.

Дополнительные потери мощности – оптические потери оптического тракта между точками нормирования на передаче и приеме, обусловленные влиянием отражений, дисперсии (хроматической и поляризационной модовой), модовых шумов и чирп-эффекта.

Средняя мощность оптического излучения – среднее значение мощности оптического излучения при модуляции оптической несущей цифровым сигналом.

Уровень мощности оптического излучения – средняя мощность оптического излучения, выраженная в дБм.

Уровень чувствительности приемника - минимальное значение уровня мощности оптического излучения в точке нормирования оптического тракта на приеме, при которых обеспечивается требуемое качество передачи цифрового оптического сигнала.

Уровень перегрузки приемника – максимальное значение уровня мощности оптического излучения в точке нормирования оптического тракта на приеме, при которых обеспечивается требуемое качество передачи цифрового оптического сигнала.

Отношение оптического сигнала к оптическому шуму – отношение средней мощности оптического излучения сигнала к средней мощности оптического излучения шума в полосе частот оптического диапазона, выраженное в дБм.

Коэффициент гашения – отношение мощности оптического излучения при передаче логической единицы цифрового сигнала к мощности оптического излучения при передаче логического нуля, выраженное в дБм.

Центральная частота (оптического канала) – центральная частота диапазона частот (длин волн), отведенного для передачи оптического сигнала отдельного оптического канала.

Ширина линии излучения лазера – ширина спектра оптического излучения передатчика ВОСП при постоянной величине тока накачки лазера.

Импульсное смещение частоты источника излучения (чирп-эффект) – изменение частоты (длины волны) источника излучения во время нарастания и спада импульса цифрового сигнала, модулирующего ток накачки.

Хроматическая дисперсия – изменение формы огибающей оптического сигнала, обусловленное зависимостями постоянной распространения моды оптического сигнала и показателя преломления оптического волокна от длины волны. По другому, это увеличение длительности оптических импульсов, обусловленное различием скоростей распространения его спектральных составляющих.

Поляризационная модовая дисперсия - изменение формы огибающей оптического сигнала, обусловленное различием скоростей распространения двух взаимно-перпендикулярных поляризационных модовых составляющих. составляющих.

Приложение 1

Технические данные стандартизованных оптических волокон (рекомендации МСЭ-Т G.652)

Производитель	Corning	OFS	Fujicura	Draka	Оптиковолокonné системы	Sumitomo
Обозначение	SMF 28 Ultra	Allwave Low Loss	FutureGuide-LWP	ESMF	E3	Pureband
Максимальные потери затухание на опорной длине волны, дБ/км						
$\lambda_{SO}=1310$ нм	0,32	0,32	0,35	0,33	0,34	0,334
$\lambda_{SE}=1383$ нм	0,32	0,31	0,31	0,32	0,33	0,314
$\lambda_{SC}=1550$ нм	0,18	0,18	0,2	0,19	0,2	0,194
Максимальный прирост затухания при изменении температуры относительно опорной длины волны в рабочем диапазоне длин волн, дБ/км	0,03	0,04	н/д	0,04	0,03	0,05
Длина волны нулевой дисперсии, нм	1304-1324	1302-1322	1300-1324	1300-1322	1300-1324	1304-1324
Параметр наклона спектральной характеристики дисперсии оптического волокна в точке нулевой дисперсии, пс/(нм ² км)	0,092	0,087	0,092	0,085	0,092	0,090
Максимальное значение поляризационной модовой дисперсии, пс/(√км)	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2	0,2
Диаметр оболочки, мкм	125±0,7					
Диаметр первичного покрытия, мкм	242±5					

Марка стандартного одномодового оптического волокна (ОВ) со ступенчатым профилем показателя преломления и несмещенной дисперсией (стандарт G.652) определяется по таблице

Таблица 3.2

<i>n</i>	<i>Марка ОВ G.652 (производитель / спецификация)</i>
0	SMF 28 Ultra
1	Allwave Low Loss
2	FutureGuide-LWP
3	ESMF
4	E3
5	Pureband
6	SMF 28 Ultra
7	Allwave Low Loss
8	FutureGuide-LWP
9	ESMF