

А.Ю.Цым, д.т.н., ЦНИИС,

В.С.Ромбро, к.т.н., ЗАО «Межгорсвязьстрой»

Принципы нормирования элементарных кабельных участков и кабельных секций регенерации ВОСП со спектральным уплотнением

Введение. С течением времени спектральное уплотнение становится основной технологией повышения пропускной способности волоконно-оптических систем передачи (ВОСП). Эта технология используется при модернизации существующих линий передачи. Новые линии передачи должны сооружаться с учетом возможности последующего применения этой технологии. Законченными элементами ВОСП является элементарный кабельный участок (ЭКУ) и кабельная секция регенерации (КСР). На каждом ЭКУ и КСР проводятся приемо-сдаточные измерения, регламентирующие взаимоотношения организаций, осуществляющих строительство и эксплуатацию ВОСП. Нормы таких измерений для ВОСП с одной длиной волны приведены в [4]. Этот документ содержит требования к относительному и абсолютному значениям затухания оптического волокна и к распределению оптических потерь на их неразъемных соединениях.

Теоретический анализ и практика применения показали, что для систем передачи со спектральным уплотнением целесообразно существенно расширить номенклатуру проверяемых параметров ЭКУ и КСР и дополнительно нормировать: локальную неоднородность оптического волокна внутри строительной длины (для контроля за качеством прокладки кабеля); затухание ЭКУ на четырех длинах волн в третьем и на пяти длинах волн в четвертом окне прозрачности; затухание ЭКУ на длине волны телеконтроля; хроматическую и поляризационную модовую дисперсию на длине волны 1,55 мкм.

Многие параметры ЭКУ и КСР зависят от их длины. Фактором, ограничивающим длину кабельного участка в высокоскоростных ВОСП, являются не только оптические потери среды передачи, но и ее дисперсия. Поэтому необходимо задать способ расчета допустимой длины ЭКУ и КСР с учетом оптических потерь и дисперсии.

Научной основой соответствующего НТД [5] стал принцип статистического нормирования [4], учитывающий случайную природу основных параметров оптической среды передачи.

Далее применяются следующие термины:

- окончание участка – граница, выбранная условно в качестве стыка оптического волокна с регенератором или с оптическим линейным усилителем;
- элементарный кабельный участок – физическая среда передачи между соседними окончаниями участка,
- кабельная секция регенерационного участка – совокупность всех ЭКУ - вся физическая среда передачи оптического линейного тракта ВОСП;
- максимальная длина элементарного кабельного участка – протяженность, при которой оптические потери в 99,99 % случаев меньше максимально допустимых в бюджете мощности ВОСП.

Рассмотрим общие положения нормирования. Элементарные кабельные участки организуются в высокоскоростных волоконно-оптических системах передачи, включая ВОСП с плотным спектральным уплотнением со скоростью цифровых потоков на каждой длине волны до 10 Гбит/с.

ЭКУ ВОСП, включая ВОСП с плотным спектральным уплотнением [1], организуются на оптических кабелях с оптическими волокнами G.652 и G.655 отвечающими требованиям [2] и [3] соответственно.

В оптическом кабеле ВОЛП различают действующие, резервные и свободные оптические волокна.

Действующие оптические волокна (ОВ) используются в сооружаемой ВОСП в качестве основных, резервные – в качестве резервных; будущее назначение свободных ОВ определяется проектом.

В процессе приемо-сдаточных испытаний ЭКУ и КСР проверяются качественные характеристики всех ОВ кабеля.

Как правило, в оптическом кабеле ВОЛП используются ОВ одного и того же завода-изготовителя.

В оптическом кабеле ВОЛП могут использоваться разные типы ОВ, например G.652 [2] и G.655 [3].

Для двухволоконных ВОСП, у которых прямое и обратное направления передачи организуются в двух ОВ одного и того же типа, необходимое количество

ОВ в ОК должно быть кратно 4 для обеспечения возможности резервирования цифровых потоков на уровне физической среды передачи по схеме 1+1.

Для одноволоконных ВОСП, у которых прямое и обратное направления передачи организуются в одном и том же ОВ, необходимое количество ОВ в ОК должно быть кратно 2 для обеспечения возможности резервирования цифровых потоков на уровне физической среды передачи по схеме 1+1.

ВОСП должны иметь суммарную общую мощность оптического сигнала, как правило, не более 17 дБм.

Длина ЭКУ после окончания строительства определяется оптическим рефлектометром на рабочей длине волны 1,55 мкм с учетом эффективного значения группового показателя преломления сердцевины ОВ, заданного заводом-изготовителем ОВ. Длина кабельной секции регенерации определяется как сумма длин последовательно соединенных ЭКУ на КСР. Длина ЭКУ также может быть определена по данным фиксации трассы ВОЛП с учетом длины запасов в соединительных муфтах и длины станционных кабелей.

Нормы на параметры ЭКУ и КСР задаются для построенных участков ВОЛП со смонтированными оконечными кабельными устройствами. Рассмотрим необходимые для нормирования параметры ВОСП.

Параметры оптических систем передачи. Код применения ВОСП обозначается: $nWx - y \cdot z$,

где

n – максимальное количество передаваемых длин волн (спектральных каналов);

$W = L$ при номинальной длине ЭКУ 80 км,

$= V$ при номинальной длине ЭКУ 120 км,

$= U$ при номинальной длине ЭКУ 160 км;

Номинальные значения длин заданы только для классификации ВОСП. Конкретные значения длин ЭКУ и затухания вычисляются для каждого регенерационного участка ВОСП с учетом бюджета мощности и шумов спонтанной эмиссии

x – максимальное количество усилительных участков, допустимое в рамках данного кода применения;

y – уровень СТМ;

$z = 2$ для ОВ G.652 [2], $= 5$ для ОВ G.655 [3].

Диапазоны затухания для кодов применения без оптических линейных усилителей приведены в таблице 1, а с оптическими линейными усилителями – в таблице 2.

Таблица 1

Код применения	nL – y·z	nV – y·z	nU – y·z
Затухание, дБ	22	33	44

Таблица 2

Код применения	nLx – y·z	nVx – y·z
Затухание, дБ	22	33

Максимальная удельная дисперсия ВОСП, задается с учетом хроматической и поляризационной модовой дисперсии. Значения максимальной удельной дисперсии ВОСП разных кодов применения приведены в таблице 3.

Таблица 3

Код применения	L	V	U	nV3 – y·z	nL5 – y·z	nV5 – y·z	nL8 – y·z
Максимальная дисперсия, пс/нм	1600	2400	3200	7200	8000	12000	12800
- Для систем СТМ-16 и при значениях дисперсии более 10000 пс/нм требуется использовать технику согласования дисперсией. Считается, что потери, связанные с применением этой техники не включаются в бюджет мощности.							

Максимальная допустимая дисперсия на КСР рассчитывается по формуле:

$$D_{\max} = D \cdot \Delta\lambda, \quad (1)$$

где D – максимальная удельная дисперсия, пс/нм; $\Delta\lambda$ – ширина спектра источника оптического излучения, нм.

Требуемая вероятность ошибки в линейном тракте оптических систем передачи достигается, если длины ЭКУ и КСР не превышают максимально допустимых значений.

Расчет допустимой длины ЭКУ и КСР с учетом оптических потерь и дисперсии включает в себя:

- определение среднего квадратического значения коэффициента поляризационной модовой дисперсии;
- расчет поляризационной модовой дисперсии на кабельной секции регенерационного участка;
- расчет максимальной допустимой длины КСР по дисперсии;

- расчет эквивалентного значения потерь, приведенного к длине 1 км;
- расчет максимальной допустимой длины ЭКУ регенерационного участка без линейных оптических усилителей и расчет максимальной допустимой длины ЭКУ регенерационного участка с линейными усилителями.

Определение среднего квадратического значения коэффициента поляризационной модовой дисперсии. Измеренным (паспортным) значениям коэффициента поляризационной модовой дисперсии $D_{\text{ПМД}}$ присписываются номера от 1 до N. Обычно $N = 100$. Каждому значению коэффициента ПМД присписывается знак «+» или «-» с вероятностью 0,5. Для этого может быть использован любой генератор случайных чисел с равномерным распределением. Тогда выпадение нечетного числа означает «-», а четного - «+». В сформированной таким образом выборке значений $D_{\text{ПМД}}$ определяется среднее квадратическое значение коэффициента ПМД - $\sigma (D_{\text{ПМД}})$.

Расчет поляризационной модовой дисперсии на кабельной секции регенерационного участка. Расчет ожидаемого максимального значения поляризационной модовой дисперсии на кабельной секции регенерационного участка $D_{\text{ПМД}}$ (КСР) проводят по формуле:

$$D_{\text{ПМД}} (\text{КСР}) = 4 \sigma (k_{\text{ПМД}}) \sqrt{L_{\text{КСР}}} , \quad (2)$$

где

$\sigma (k_{\text{ПМД}})$ – среднее квадратическое значение коэффициента ПМД, определенное по методу, изложенному выше, $L_{\text{КСР}}$ – длина КСР, км.

Расчет максимальной допустимой длины КСР по дисперсии, L_{max} при учете системного ограничения по дисперсии производится на основе соотношения

$$D_{\text{ХД}} \cdot L_{\text{max}} \cdot \Delta\lambda + 4\sigma(k_{\text{ПМД}}) \cdot \sqrt{L_{\text{max}}} - D_{\text{КД}} \leq D_{\text{max}} , \quad (3)$$

$$D_{\text{КД}} < D_{\text{ХД}} \cdot L_{\text{max}} \cdot \Delta\lambda , \quad (4)$$

где

$D_{\text{ХД}}$ – коэффициент хроматической дисперсии, пс/(нм*км),

$\sigma (k_{\text{ПМД}})$ – среднее квадратическое значение коэффициента ПМД, пс/ $\sqrt{\text{км}}$,

D_{max} – значение максимальной допустимой дисперсии, рассчитанное по формуле (1),

$D_{КД}$ – общая дисперсия компенсаторов дисперсии, пс,

$\Delta\lambda$ – ширина спектра источника оптического излучения.

Эквивалентное значение потерь, приведенное к длине 1 км $\alpha_э$, рассчитывается по формуле:

$$\alpha_э = \left[(\bar{\alpha} + \Delta\alpha)L + 4\sigma_\alpha \sqrt{L/L_0} + \bar{A}_{nc} \cdot L/l + 4\sigma_{nc} \sqrt{L/l} \right] / L, \quad (5)$$

где

σ_α – среднее квадратическое отклонение коэффициента затухания, дБ/км;

σ_{nc} – среднее квадратическое отклонение потерь в сростках ОВ, дБ;

$\bar{\alpha}$ – среднее значение коэффициента затухания, дБ/км;

$\Delta\alpha$ – максимальное отклонение коэффициента затухания в используемом диапазоне длин волн от коэффициента затухания на номинальной длине волны, дБ/км;

L – длина ЭКУ, км;

L_0 – единичная длина, равная 1 км;

l – строительная длина ОК, км.

Расчет максимальной допустимой длины ЭКУ регенерационного участка без линейных оптических усилителей. Максимальная допустимая длина ЭКУ регенерационного участка ВОЛП с подземным ОК без линейных оптических усилителей рассчитывается по формуле:

$$L_{max} = A_s / \alpha_э, \quad (6)$$

$$A_s = P_{out} - P_{in} - A_{каб} - A_D - \Delta A$$

Максимальная допустимая длина ЭКУ регенерационного участка ВОЛП с подвесным ОК без линейных оптических усилителей рассчитывается по формуле:

$$L_{max} = A_s / (\alpha_э + \delta\alpha), \quad (7)$$

где

A_s – общие допустимые оптические потери на ЭКУ в конце срока службы ОК, дБ;

- P_{out} - минимальный абсолютный уровень средней оптической мощности индивидуального канала, вводимой в ОВ ЭКУ на λ_i в конце срока службы ВОСП, дБм;
- P_{in} - абсолютный уровень средней оптической мощности индивидуального канала на выходе ЭКУ, дБм;
- $A_{каб}$ - эксплуатационный запас энергетического потенциала для кабеля
- A_D - эксплуатационный запас энергетического потенциала, учитывающий уменьшение амплитуды оптического сигнала за счет дисперсии;
- ΔA - абсолютная погрешность измерения затухания ЭКУ, дБ;
- $\delta\alpha$ - максимальное увеличение затухания оптического волокна в подвесных кабелях при низких температурах (от минус 50 до минус 60° С).

Расчет максимальной допустимой длины ЭКУ регенерационного участка с линейными усилителями производится на основе соотношения

$$\begin{cases} A_S \leq P_{out}(\lambda_i) - P_{ш} - NF - 10 \lg m - A_{каб} - A_D - R_{SN}, \\ L_{max} = A_S / \alpha_s, \text{ для ВОЛП с подземным ОК} \\ L_{max} = A_S / (\alpha_s + 0,03), \text{ для ВОЛП с подвесным ОК} \\ P_{out}(\lambda_i) = P_{out\Sigma} - 10 \lg n, \end{cases} \quad (8)$$

где

- $P_{out}(\lambda_i)$ - мощность сигнала оптического канала, дБм;
- $P_{ш} = -58$ - мощность шума на входе приемника оптического сигнала, дБм;
- $P_{out\Sigma}$ - общая мощность источника оптического излучения, дБм;
- NF - коэффициент шума оптического усилителя, дБ;
- m - количество усилительных участков на КСР;
- $A_{каб}$ - эксплуатационный запас энергетического потенциала для кабеля
- A_D - эксплуатационный запас энергетического потенциала, учитывающий уменьшение амплитуды оптического сигнала за счет дисперсии, дБ;
- R_{SN} - логарифмическое отношение сигнал/шум, обеспечивающее заданную вероятность ошибки, дБ.

Значения $P_{out\Sigma}$, n , NF , R_{SN} задаются в спецификациях на оборудование DWDM; ориентировочные значения этих характеристик, отражающие современный технический уровень ВОСП, приведены в таблице 4.

Таблица 4

Характеристика	Значение
$P_{out\Sigma}$, дБм	17 – 20
n	32 – 100
NF, дБ	5 – 7,5
R_{SN} , дБ	15 – 18

Точное значение ожидаемого отношения сигнал/шум на регенерационном участке рассчитывается так же, как на линейном тракте аналоговых систем передачи.

Рассмотрим принципы нормирования оптических параметров ЭКУ и КСР.

На ЭКУ нормируются:

- относительное значение оптических потерь – затухание на номинальной рабочей длине волны 1,3 мкм или 1,55 мкм, приведенное к длине 1 км;
- абсолютное значение оптических потерь – суммарное продольное затухание одинаково идентифицированных оптических волокон соединенных строительных длин, суммарные потери на их сростках, потери в станционных пигтейлах и потери на разъемных соединителях оптических кроссов, если таковые имеются в составе ЭКУ, на номинальной рабочей длине волны 1,3 мкм или 1,55 мкм;
- распределение значений потерь в сростках ОВ на номинальной рабочей длине волны 1,3 мкм или 1,55 мкм;
- локальная неоднородность оптического волокна внутри строительной длины на номинальной рабочей длине волны 1,55 мкм;
- затухание ЭКУ в диапазоне рабочих длин волн при спектральном уплотнении ОВ в третьем окне прозрачности на длинах волн 1530, 1540, 1550 и 1560 нм, в четвертом окне прозрачности на длинах волн 1570, 1580, 1590, 1600 и 1610 нм;
- затухание ЭКУ на длине волны системы телеконтроля 1310, 1480, 1510, 1625 нм или 1650 нм.

На КСР нормируются:

- хроматическая дисперсия КСР на номинальной рабочей длине волны 1,55 мкм;
- поляризационная модовая дисперсия КСР на номинальной рабочей длине волны 1,55 мкм.

Норма относительного значения оптических потерь. Затухание ЭКУ на номинальной рабочей длине волны 1,3 мкм или 1,55 мкм, приведенное к длине 1 км α_n , должно быть не более:

$$- \quad \text{на } \lambda = 1,3 \text{ мкм} \quad \alpha_n \leq \left[\sum_{i=1}^n \alpha_i l_i + 0,2 m_{nc} + A_{pc} \right] / L, \quad (9)$$

$$- \quad \text{на } \lambda = 1,55 \text{ мкм} \quad \alpha_n \leq \left[\sum_{i=1}^n \alpha_i l_i + 0,1 m_{nc} + A_{pc} \right] / L, \quad (10)$$

где

α_i - коэффициент затухания оптического волокна на i -ой строительной длине, указанный в ее паспорте-сертификате;

l_i – протяженность i -ой строительной длины;

n – количество строительных длин ЭКУ;

m_{nc} – количество неразъемных соединений (сварок) оптического волокна ЭКУ;

A_{pc} – паспортные значения потерь разъемных соединителей оптических кроссов, если таковые имеются в составе ЭКУ.

Норма абсолютного значения оптических потерь. Суммарное продольное затухание одинаково идентифицируемых оптических волокон соединенных строительных длин, суммарные потери на их сростках, потери в станционных пигтейлах и потери на разъемных соединителях оптических кроссов, если таковые имеются в составе ЭКУ, на номинальной рабочей длине волны 1,3 мкм или 1,55 мкм, измеренное между оптическими стыками S и R, не должно быть более допустимого значения, определяемого по формуле:

$$A_{SR} = A_S - A_{каб} - A_D - \Delta A, \quad (11)$$

где

A_{SR} – допустимое значение оптических потерь на рабочей длине волны 1,3 мкм или 1,55 мкм между оптическими стыками S и R, заданное в таблицах 1 и 2. (Если изготовитель аппаратуры гарантирует большее допустимое значение оптических потерь, чем в таблице 1 или 2, то в формуле (11) следует использовать это лучшее значение)

$A_{каб} = A_{эзд} + A_{эзв}$, эксплуатационный запас долговечности $A_{эзд}$, рассчитываемый по формуле:

$$A_{эзд} = 0,01 \cdot L \cdot (1 - T/25), \quad (12)$$

где

L – длина ЭКУ, км, T – время эксплуатации ВОЛП, год, 25 – срок службы ОК, год;

эксплуатационный запас на ремонтные вставки $A_{эзв}$, рассчитываемый по формуле:

$$A_{эзв} = p \cdot 2a_{nc} (25 - T) \frac{L}{100}, \quad (13)$$

где

$p = 0,2$ – средняя плотность повреждений на 100 км подземных ВОЛП и ВОЛП с ОКГТ, подвешенным на опорах ВЛ с напряжением 110 кВ,

$p = 0,1$ – средняя плотность повреждений на 100 км ВОЛП с ОКГТ, подвешенным на опорах ВЛ с напряжением 220 кВ и более;

A_D – значение запаса энергетического потенциала на дисперсию, дБ, берется из технических условий (контрактных спецификаций) ВОСП,

ΔA – значение абсолютной погрешности измерения затухания, дБ, берется из технического описания применяемого измерительного прибора.

Требования к распределению значений потерь в сростках ОВ на номинальной рабочей длине волны 1,3 мкм или 1,55 мкм. Распределение потерь в неразъемных соединениях ЭКУ, определяемое для каждого волокна по отдельности, должно соответствовать требованиям, заданным в таблице 5.

Таблица 5

Длина волны λ , мкм	Потери A_{nc} , дБ, не более, в %-тах неразъемных соединений	
	100	50
1,3	0,2	0,1
1,55	0,1*	0,05

* В исключительных случаях допускается максимальное значение потерь на стыке не более 0,15 дБ, если меньшее значение не достигнуто после трех повторений сварки. При этом в монтируемой муфте на кассете должен остаться запас оптического волокна из трех витков.

Значение потерь для каждого неразъемного соединения A_{nc} определяется как среднее арифметическое результатов измерений оптическим рефлектометром с двух сторон ЭКУ.

Требования к локальной неоднородности оптического волокна внутри строительной длины на номинальной рабочей длине волны 1,55 мкм. Локальная

неоднородность оптического волокна внутри строительной длины на ЭКУ должна быть не более 0,1 дБ.

Норма оптических потерь в рабочем диапазоне частот при спектральном уплотнении ОВ. Затухание ЭКУ на длинах волн 1530, 1540, 1550, 1560, 1570, 1580, 1590, 1600 и 1610 нм, измеренное между точками S и R, не должно быть более допустимого значения, определяемого по формуле:

$$A = P_{out}(\lambda_i) - P_{in}(\lambda_i) - A_{каб} - A_D - \Delta A, \quad (14)$$

где

- $P_{out}(\lambda_i)$ - минимальный абсолютный уровень средней оптической мощности индивидуального канала, вводимой в ОВ ЭКУ на λ_i в конце срока службы ВОСП, дБм
- $P_{in}(\lambda_i)$ - абсолютный уровень средней оптической мощности индивидуального канала на выходе ЭКУ на λ_i , дБм;
- $A_{каб}$ - эксплуатационный запас энергетического потенциала ВОСП для кабеля, дБ.

Затухание ЭКУ на длине волны телеконтроля 1410, 1480, 1510, 1625 или 1650 нм измеряется, но не нормируется.

Хроматическая дисперсия КСР на номинальной рабочей длине волны 1,55 мкм, D_{ch} , не должна быть более допустимого значения, определяемого по формуле:

$$D_{ch} = k_D \cdot L_{ксп} \cdot \Delta\lambda, \quad (15)$$

где

k_D - максимальное значение коэффициента хроматической дисперсии, указанное в паспорте-сертификате данного ОВ, пс/(нм·км);

$L_{ксп}$ – длина КСР, км;

$\Delta\lambda$ - ширина спектра источника оптического излучения.

Поляризационная модовая дисперсия ЭКУ, $D_{ПМД}$, на номинальной рабочей длине волны 1,55 мкм не должна быть более допустимого значения, определяемого по формуле:

$$D_{ПМД} = k_{ПМД} \cdot L_{КСР}^{0.5}, \quad (16)$$

где $k_{пмд}$ - максимальное значение коэффициента поляризационной модовой дисперсии данного типа ОВ, пс/км^{0,5}, $L_{КСР}$ – длина КСР, км.

В заключение рассмотрим рекомендации по проведению приемосдаточных измерений ЭКУ и КСР. Приемосдаточные измерения производятся в полном объеме на всех элементарных кабельных участках сооружаемой волоконно-оптической линии передачи.

Измерения производятся на ЭКУ, образуемых из действующих, резервных и свободных ОВ.

Относительное и абсолютное значения оптических потерь, распределение значений потерь в сростках и локальная неоднородность ОВ измеряются оптическим рефлектометром по методике, изложенной в его инструкции по эксплуатации.

Оптический рефлектометр должен обладать техническими характеристиками не хуже приведенных в таблице 7.

Таблица 7

Характеристика	Значение
Рабочая длина волны, нм	1300; 1550
Динамический диапазон измеряемых значений затухания при отношении сигнала к среднеквадратическому значению шума равном 1, дБ, при длине волны: 1300 ± 20 нм 1550 ± 20 нм	37 или $A_{SR} + 2$ 35 или $A_{SR} + 2$, где A_{SR} – затухание ЭКУ
Измеряемая длина, км, при длине волны: 1300 ± 20 нм 1550 ± 20 нм	100 175
Погрешность измерения затухания (относительная нелинейность вертикальной шкалы рефлектометра) %, не более	5
Диапазон изменения устанавливаемого значения показателя преломления	1,4000 – 1,6000
Точность установки показателя преломления	0,0001
Погрешность по длине на ЭКУ, %	0,01
Минимальная мертвая зона, м	40
Разрешающая способность по вертикали, дБ	0,001

Измерение ЭКУ рефлектометром производится с двух сторон. Результат измерения определяется по усредненной рефлектограмме. Технологические измерения в процессе монтажа ЭКУ целесообразно проводить при помощи линейных рефлектометров с динамическим диапазоном от 20 дБ.

Здесь уместно высказаться о необходимости измерения оптических параметров ЭКУ спектральным рефлектометром. Нормы, приведенные выше, гарантируют достижение в оптическом линейном тракте вероятности ошибки не более 10^{-10} . Таким образом, они, с одной стороны, необходимы и достаточны, а с другой, - минимизируют затраты на проведение приемо-сдаточных измерений (ПСИ). Включение в перечень ПСИ испытаний оптических волокон спектральным рефлектометром существенно увеличит затраты на ПСИ, не добавив значимой информации об испытуемом объекте. По нашему мнению, спектральный рефлектометр должен использоваться как стационарный прибор для отладки технологии производства ОК и периодической проверки качества оптического кабеля на заводе в процессе производства (при возникновении сомнений в стабильности технологии изготовления кабеля).

Оптические потери в рабочем диапазоне частот при спектральном уплотнении ОВ и затухание ЭКУ на длине волны телеконтроля измеряются методом разности уровней с помощью источника оптической мощности с перестраиваемой длиной волны и измерителя уровня оптической мощности с соответствующими измеряемой длине волны оптическими фильтрами.

Измерительный комплект должен обладать техническими характеристиками не хуже приведенных в таблице 8.

Таблица 8

Характеристика	Значение
Диапазоны измеряемых длин волн, нм	1310 – 1350 1530 – 1650
Точность установки измеряемой длины волны, нм	0,1
Уровень оптической мощности, дБм	0; +10
Стабильность выходного уровня во времени, дБм	± 1
Погрешность измерения затухания, %	5
Разрешающая способность по уровню, дБм	0,01

Измерение хроматической дисперсии производится методом амплитудной модуляции специализированным комплектом приборов с относительной погрешностью не более 10 %.

Измерение поляризационной модовой дисперсии производится при помощи интерферометрического метода специализированным комплектом приборов с относительной погрешностью не более 10 %.

Перечень необходимых исходных данных для нормирования ЭКУ и КСР приведен в таблице 9.

Таблица 9

Характеристика	Условное обозначение	Размерность
<i>Оптический кабель</i>		
Среднее значение коэффициента затухания на номинальной длине волны ($\lambda = 1,3$ мкм или $\lambda = 1,55$ мкм)	$\bar{\alpha}$	дБ/км
Среднее квадратическое отклонение коэффициента затухания на номинальной длине волны	$\sigma(\alpha)$	дБ/км
Максимальное отклонение коэффициента затухания в используемом диапазоне длин волн от среднего значения на номинальной длине волны	$\Delta\alpha$	дБ/км
Максимальное увеличение затухания оптического волокна в подвесных кабелях при низких температурах (от минус 50 до минус 60°С)	$\delta\alpha$	дБ/км
Коэффициент поляризационной модовой дисперсии на номинальной длине волны для каждого ОВ каждой строительной длины ОК на номинальной длине волны	$k_{ПМД}$	$\frac{пс}{\sqrt{км}}$
Среднее квадратическое отклонение коэффициента ПМД для нормального распределения с нулевым средним в партии кабеля, поставляемой в один адрес	$\sigma(k_{ПМД})$	$\frac{пс}{\sqrt{км}}$
Максимальное значение коэффициента хроматической дисперсии на номинальной длине волны	k_D	$\frac{пс}{нм \cdot км}$
Номинальная строительная длина	ℓ	км
<i>Система передачи</i>		
Минимальный абсолютный уровень средней оптической мощности индивидуального канала, вводимой в ОВ ЭКУ на λ_i в конце срока службы ВОСП	$P_{out}(\lambda_i)$	дБм
Абсолютный уровень средней оптической мощности индивидуального канала на выходе ЭКУ на λ_i	$P_{in}(\lambda_i)$	дБм
Коэффициент шума оптического усилителя	NF	дБ
Эксплуатационный запас энергетического потенциала ВОСП для кабеля	$A_{каб}$	дБ
Эксплуатационный запас энергетического потенциала ВОСП, учитывающий уменьшение амплитуды оптического сигнала за счет дисперсии	A_D	дБ
Общие допустимые оптические потери на ЭКУ в конце срока службы ОК	A_S	дБ
Логарифмическое отношение сигнал/шум, соответствующее вероятности ошибки 10^{-12}	R_{NS}	дБ
Максимальное допустимое значение потерь разъемных соединений	A_{pc}	дБ
Динамический диапазон приемника оптического сигнала	$A_{\Delta\delta}$	дБ
Ширина спектра источника оптического излучения	$\Delta\lambda$	нм
Максимальное допустимое значение дисперсии на регенерационном участке	D_{max}	пс

<i>Измерительные приборы</i>		
Погрешность измерительного прибора, измеряющего затухание ЭКУ	ΔA	дБ
Погрешность измерения мощности светового сигнала на выходе источника оптического излучения	M_{out}	%
Погрешность измерения мощности светового сигнала на входе оптического приемника	M_{in}	%
<i>Технология строительства</i>		
Среднее значение оптических потерь сварных соединений	$\overline{A_{нс}}$	дБ
Среднее квадратическое значение оптических потерь сварных соединений	$\sigma_{нс}$	дБ

Литература

- | | | |
|-----|---|---|
| [1] | ОСТ 45.178-2000 | Системы передачи с оптическими усилителями и спектральным уплотнением. Стыки оптические. Классификация и основные параметры |
| [2] | Рекомендация МСЭ-Т G.652 | Характеристики одномодового волоконно-оптического кабеля |
| [3] | Рекомендация МСЭ-Т G.655 | Характеристики одномодового оптического кабеля с ненулевой смещенной дисперсией |
| [4] | Госкомсвязи России (1997), приказ №97 от 17.12.97 | Нормы приемосдаточных измерений элементарных кабельных участков магистральных и внутризонавых подземных волоконно-оптических линий передачи сети связи общего пользования |
| [5] | ЦНИИС, 2003 | Нормы для элементарных кабельных участков высокоскоростных волоконно-оптических линий передачи, работающих на новых и стандартных типах оптических волокон, включая системы плотного спектрального уплотнения |