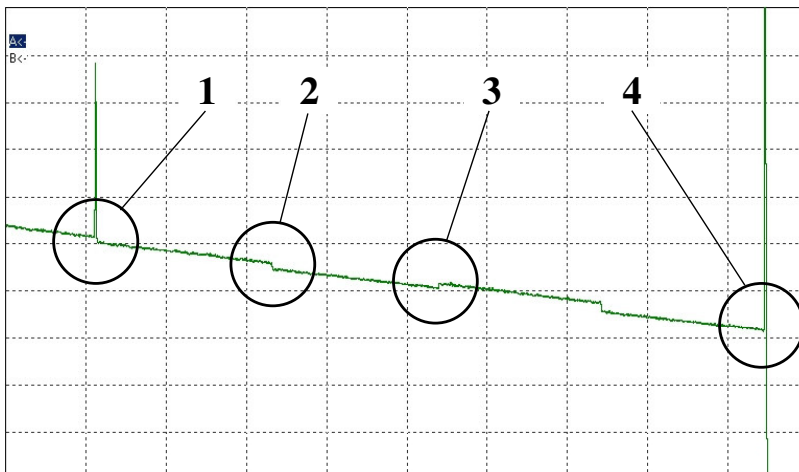


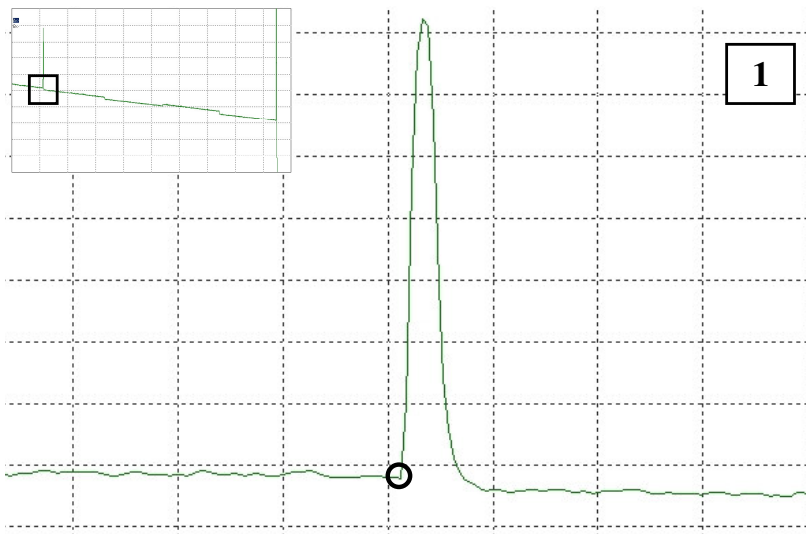
## 4. ИЗМЕРЕНИЯ ОСНОВНЫХ ПАРАМЕТРОВ ЛИНЕЙНОГО ТРАКТА ВОЛН МЕТОДОМ ОБРАТНОГО РАССЕЯНИЯ

### 4.1. Измерение расстояния до неоднородности

При измерении расстояния до неоднородности маркер устанавливается в точку пересечения характеристики обратного рассеяния предшествующего неоднородности квазирегулярного участка и левого нарастающего фронта отраженного импульса.

Для уменьшения погрешности измерения необходимо увеличить масштаб отображения анализируемого фрагмента рефлектограммы, содержащего саму неоднородность и конец прилегающего к ней квазирегулярного участка.





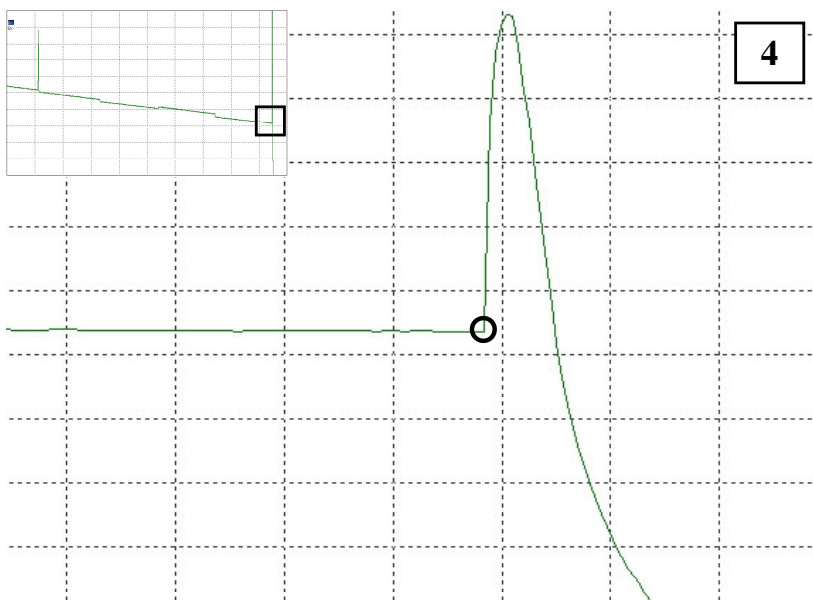
**1** – неоднородность с отражением (механический соединитель)



**2** – неоднородность без отражения (сварное соединение, изгиб волокна (радиус меньше допустимого) – ступенька вниз)



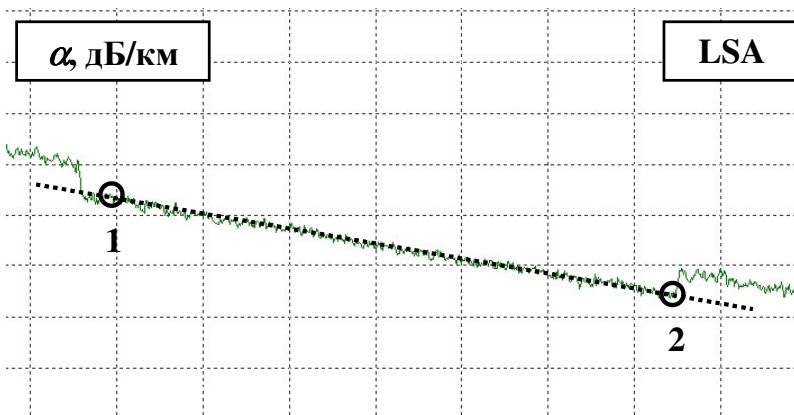
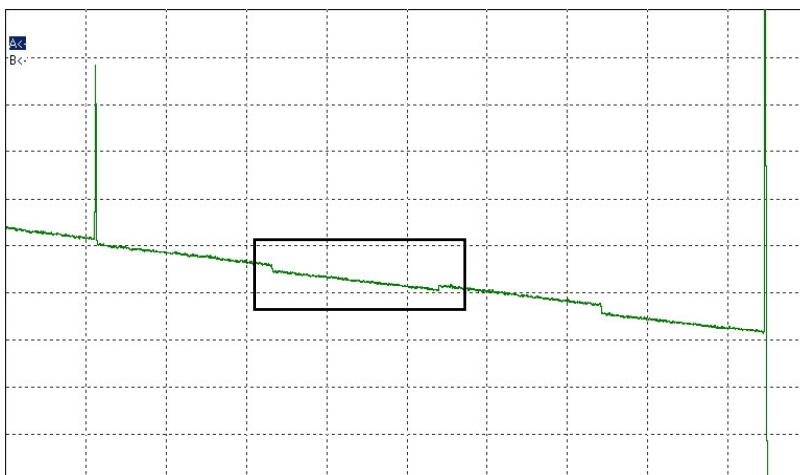
**3** – неоднородность без отражения (сварное соединение – ступенька вверх)



**4** – конец линии

## 4.2. Измерение коэффициента затухания на квазирегулярном участке

При измерении коэффициента затухания  $\alpha$  анализируемый квазирегулярный участок ОВ выделяется двумя маркерами: первый маркер устанавливается за пределами мертвой зоны от предыдущей неоднородности, второй – непосредственно на конце анализируемого участка.



Измерение коэффициента затухания  $\alpha$  на квазирегулярном участке выполняется в режиме аппроксимации **LSA** (метод наименьших квадратов).

Применение метода двух точек (ТРА, 2РТ) в рассматриваемом случае приводит к значительной погрешности измерения  $\alpha$ , дБ/км.

Алгоритм оценки коэффициента затухания:

- 1) обработка выделенного маркерами квазирегулярного участка по методу наименьших квадратов;
- 2) построению прямой, которая является результатом аппроксимации;
- 3) оценке тангенса угла наклона аппроксимирующей прямой к оси абсцисс, который соответствует искомому значению коэффициента затухания исследуемого квазирегулярного участка.

### 4.3. Анализ стыковых неоднородностей

#### 4.3.1. Параметры соединения

В большинстве случаев качество соединения типовых оптических волокон оценивается по двум основным параметрам:

- Вносимые потери  $a_{Loss}$  (Insertion Loss), дБ
- Затухание отражения  $A_{Refl}$  (Reflection), дБ

Вносимые потери на стыке  $a_{Loss}$  определяют потери мощности оптического сигнала на анализируемом соединении и оцениваются как отношение мощности излучения на входе  $P_{in}$  и выходе  $P_{out}$  стыка:

$$a_{Loss} = 10 \lg \frac{P_{in}}{P_{out}}, \text{ дБ}$$

Затухание отражения (потери на отражение)  $A_{Refl}$  определяет часть мощности, отраженную на анализируемом соединении, и оценивается через отношение отраженной мощности  $P_{Refl}$  к мощности на входе стыка  $P_{in}$ .

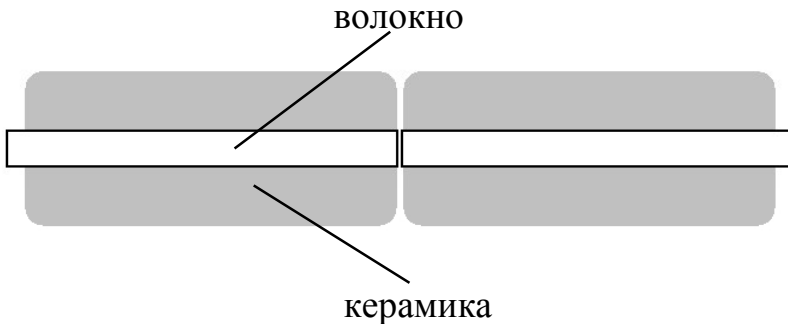
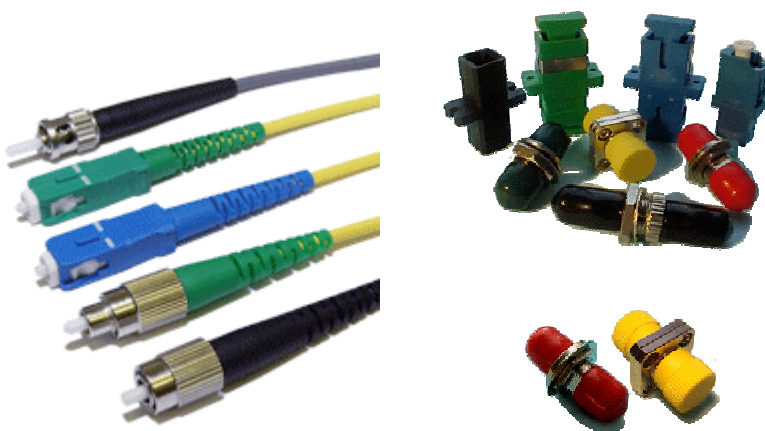
$$A_{Loss} = 10 \lg \frac{P_{refl}}{P_{in}}, \text{ дБ}$$

Поскольку  $P_{Refl} < P_{in}$ , результат отображается со знаком «минус»: например,  $-60$  дБ.

Таким образом, стык с затуханием отражения – 55 дБ является более качественным, по сравнению с –50 дБ, а соединение с вносимыми потерями 0,1 дБ – соответственно, напротив, менее качественное, чем стык с  $a_{Loss}=0,08$  дБ.

### 4.3.2. Классификация стыковых неоднородностей

#### *Оптический разъем*

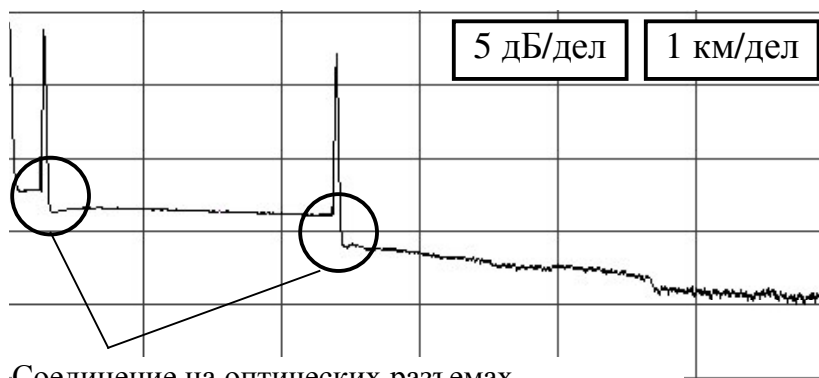


Низкое качество:

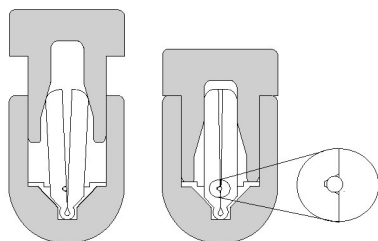
- Большие потери ( $a_{Loss}$  более 0,5 дБ)
- Большое отражение ( $A_{Ref}$  менее 30 дБ)



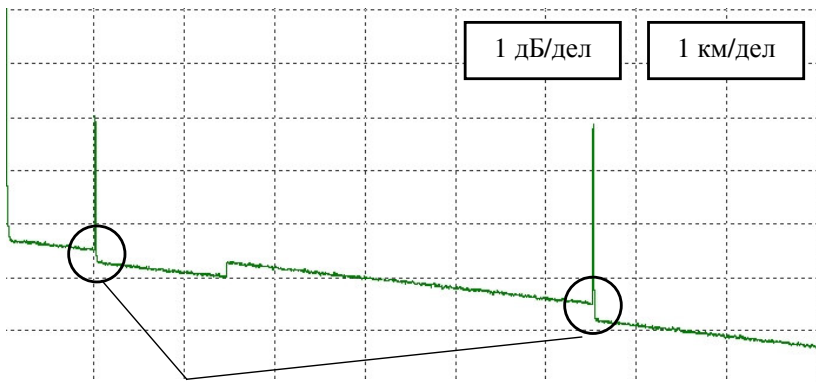
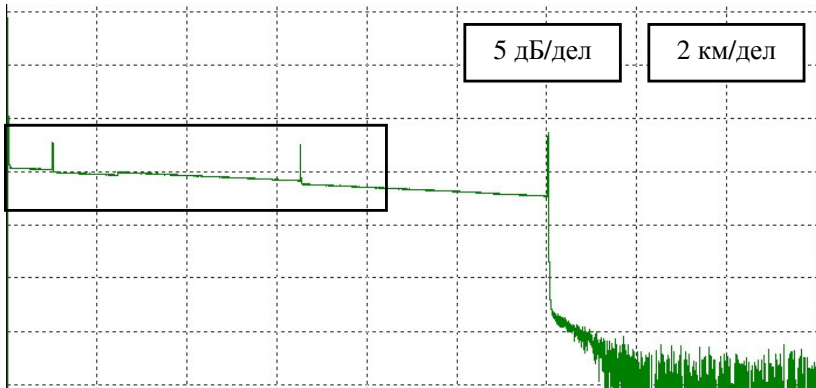




### *Механический соединитель*

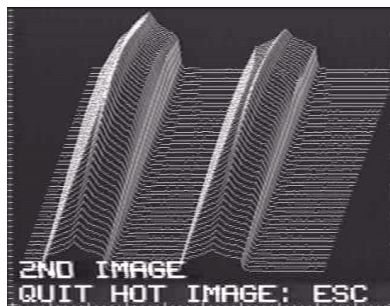
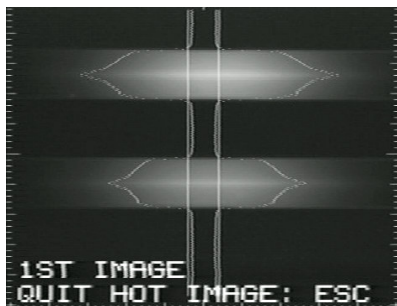
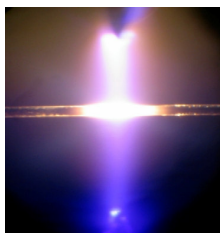


- Сравнительно низкие потери ( $\alpha$  менее 0,1 дБ)
- Большое отражение ( $A_{refl}$  менее 60 дБ)



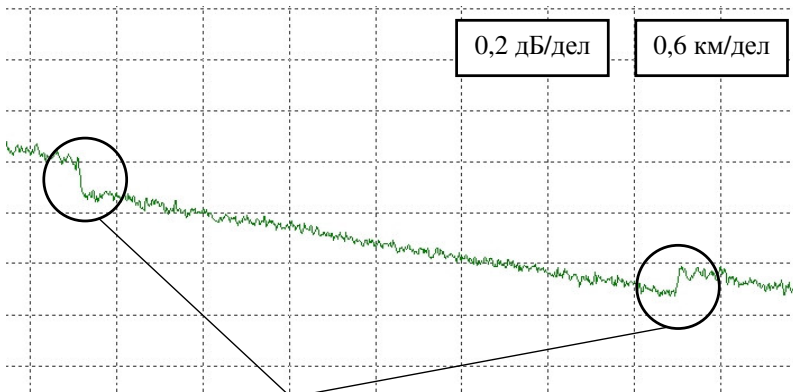
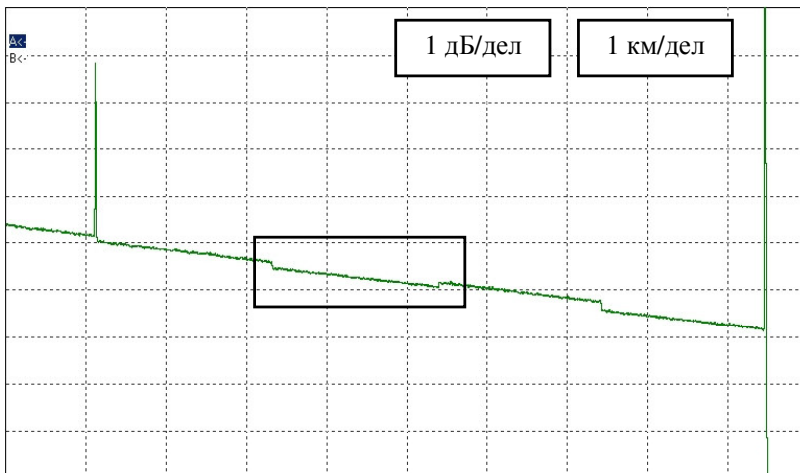
Механический соединитель

## Сварное соединение



### Высокое качество

- Низкие потери ( $\alpha$  менее 0,1 дБ, в большинстве случаев – менее 0,05 дБ)
- Малое отражение (теоретически  $A_{refl}$  более 120 дБ)



Сварное соединение

### 4.3.3. Измерение вносимых потерь на стыке

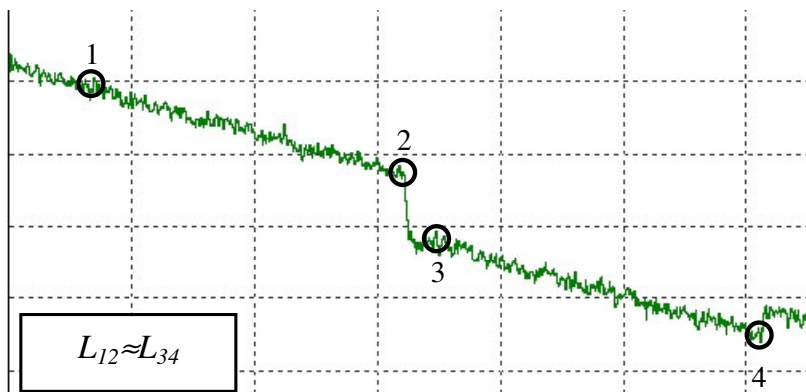
Участок рефлектограммы в зоне стыковой неоднородности искажен. Поэтому в общем случае алгоритм оценки вносимых потерь на стыке выглядит следующим образом:

1. выделение прилегающих к стыку квазирегулярных участков
2. аппроксимация линейной зависимостью по методу наименьших квадратов (LSA) выделенных квазирегулярных участков до и после стыка
3. определение путем экстраполяции «вперед» (участок до стыка) и «назад» (участок после стыка) уровня мощности потока обратного рассеяния в точке стыка (выход первого прилегающего участка (до стыка) и вход второго прилегающего участка (после стыка))
4. искомая оценка вносимых потерь на стыке есть разность указанных уровней

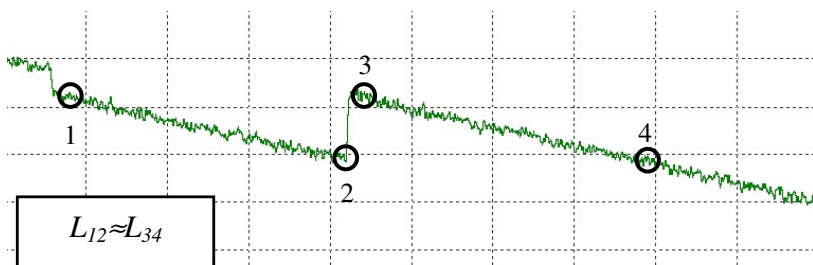
Схема расстановки маркеров при измерении вносимых потерь на стыке (неоднородность №n):

- Маркер «1» устанавливается за мертвой зоны относительно предыдущей неоднородности №(n-1)
- Маркер «2» устанавливается на конец первого прилегающего квазирегулярного участка до анализируемого стыка
- Маркер «3» устанавливается непосредственно за мертвой зоной относительно анализируемого стыка
- Маркер «4» устанавливается на конец второго прилегающего квазирегулярного участка после анализируемого стыка
- Уточняется положение маркеров «1» и «4» с учетом того, что длины аппроксимирующих прямых должны быть примерно одинаковы ( $L_{12} \approx L_{34}$ ). При необходимости положение маркеров «1» и «4» корректируется.

Чем больше длины аппроксимирующих прямых, тем точнее результат.



Ступенька вниз. Показания OTDR со знаком «+».



Ступенька вверх. Показания OTDR со знаком «-» .

Для устранения систематической погрешности измерения вносимых потерь на стыке, обусловленной разбросом средних значений коэффициентов обратного рассеяния сращиваемых ОВ, необходимо выполнять измерения  $a_{Loss}$  с двух противоположных сторон ВОЛП, а результат определять как среднее значение показаний OTDR:

$$a_{Loss} = \frac{a_{AB} + a_{BA}}{2},$$

где  $a_{AB}$  и  $a_{BA}$  – показания рефлектометра при измерении вносимых потерь на стыке в направлениях АБ и БА, соответственно.

Изменения рефлектограммы, отображающие место стыка ОВ, определяются двумя факторами:

- Потери оптической мощности
- Разброс значений коэффициентов обратного рассеяния сращиваемых ОВ  $k_A$  и  $k_B$

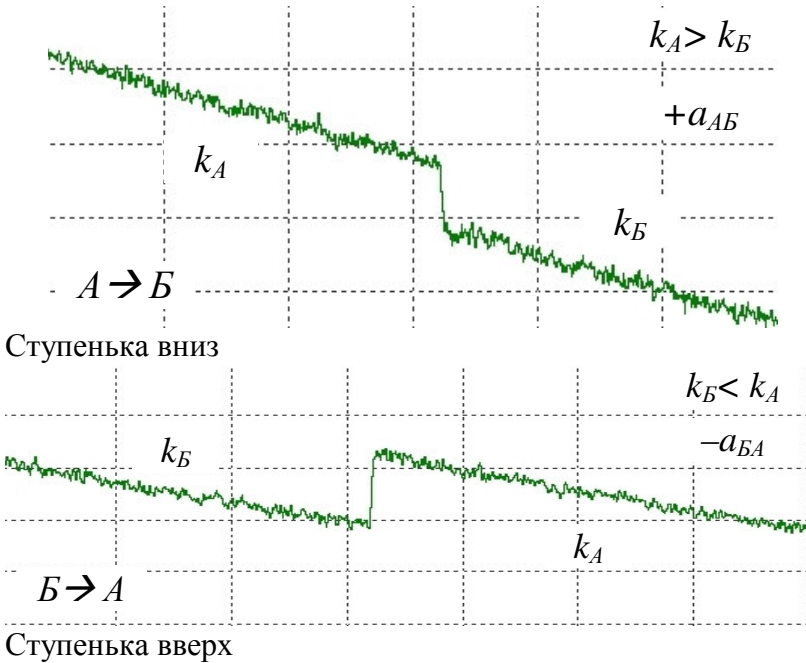
Фактически показания OTDR складываются из действительного значения вносимых потерь  $a_{Loss}$  на стыке и логарифма отношения коэффициентов обратного рассеяния сращиваемых ОВ.

$$a_{AB} = a_{Loss} + 10 \lg \frac{k_A}{k_B}$$

$$a_{BA} = a_{Loss} + 10 \lg \frac{k_B}{k_A}$$

$$\frac{a_{AB} + a_{BA}}{2} = \frac{1}{2} \left( a_{Loss} + 10 \lg \frac{k_A}{k_B} + a_{Loss} + 10 \lg \frac{k_B}{k_A} \right) = a_{Loss}$$

В ряде случаев разброс коэффициентов обратного рассеяния может превышать действительное значение вносимых потерь на стыке. При этом характер отображения зоны стыка на рефлектограмме определяется соотношением значений  $k_A$  и  $k_B$ :



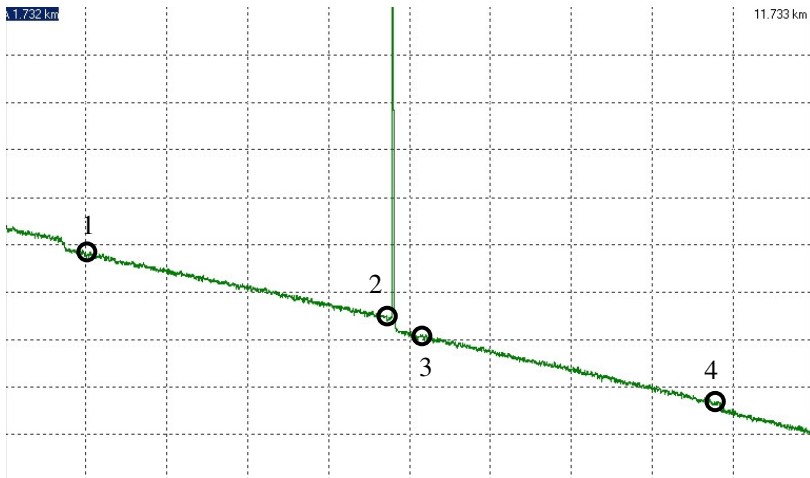
Итоговое значение (действительное значение вносимых потерь) всегда больше или равно нулю:

$$a_{Loss} = \frac{a_{AB} + a_{BA}}{2} \geq 0$$

При измерении вносимых потерь на неоднородности с отражением (механический соединитель, соединение на оп-



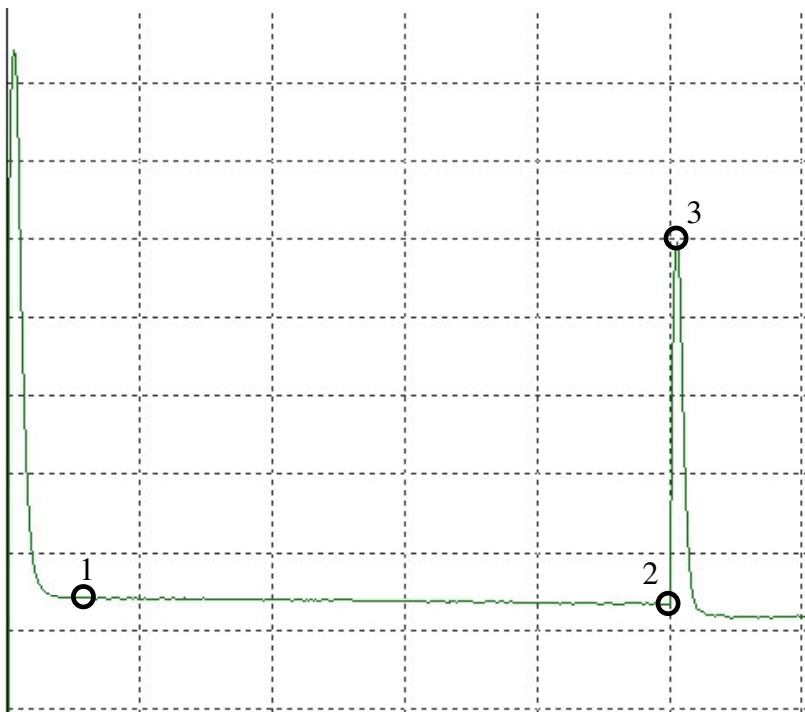
тических разъемах) схема расстановки маркеров аналогична, измерения также проводятся с двух сторон.



#### 4.3.4. Измерение затухания отражения

При измерении затухания отражения ( $A_{RefI}$ ) неоднородности с отражением маркерами «1» и «2» выделяется прилегающий к анализируемой неоднородности квазирегулярный участок (участок «до неоднородности»), а маркер «3» устанавливается непосредственно на максимум всплеска.

При оценке значения  $A_{RefI}$  измерения с противоположных концов исследуемой ВОЛП (направления  $A \rightarrow B$ ,  $B \rightarrow A$ ) не требуются.



#### 4.4. Измерение потерь на участке рефлектограммы, содержащем неоднородности

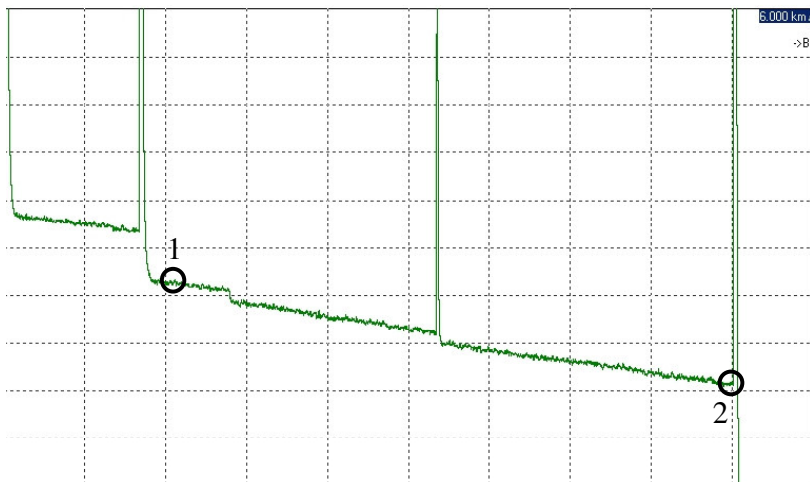
Задача измерения потерь на участке рефлектограммы, содержащем одну или несколько неоднородностей, возникает как при определении затухания на смонтированном ЭКУ ВОЛП, так и при оценке потерь на отдельном участке ВОЛП, составленном из последовательно соединенных ОВ строительных длин ОК.

В общем случае алгоритм оценки потерь на участке рефлектограммы с неоднородностями выглядит следующим образом. Предварительно, с помощью двух маркеров выделяют анализируемый участок рефлектограммы.

OTDR автоматически выполняет оценку разности уровней потока обратного рассеяния в точках рефлектограммы, обозначенных маркерами, что соответствует искомому значению потерь  $a$ , дБ на анализируемом участке.

Также выполняется аппроксимация выделенного участка линейной зависимостью по методу двух точек (ТРА, 2РТ), строится прямая, которая является результатом аппроксимации, и оценивается тангенс угла наклона указанной прямой к оси абсцисс, соответствующий коэффициенту затухания  $\alpha$  анализируемого участка.

Применение метода аппроксимации LSA при оценке потерь на участке рефлектограммы, содержащей несколько неоднородностей, некорректно и приводит к значительной погрешности.



Действительное значение потерь (или коэффициента затухания) определяется как среднее арифметическое показаний OTDR, полученных в результате анализа характеристики обратного рассеяния ОВ, измеренной с противоположных сторон – направления  $A \rightarrow B$ ,  $B \rightarrow A$ :

$$a = \frac{a_{AB} + a_{BA}}{2} \geq 0$$

#### 4.5. Локализация границ мертвой зоны

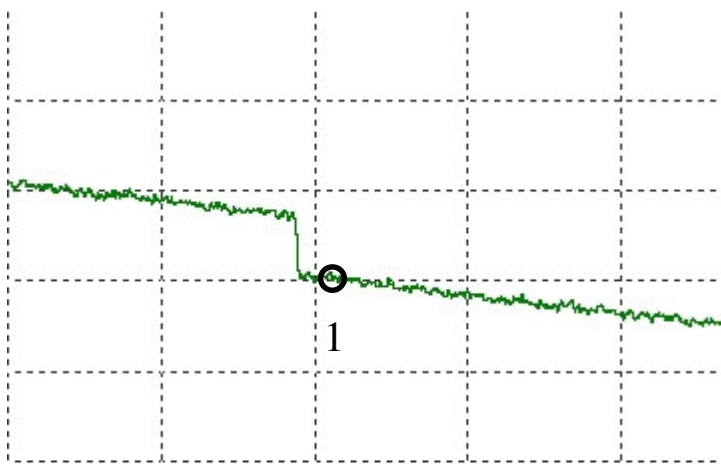
При измерении ряда параметров ВОЛП схема расстановки маркеров требует локализации границы мертвая зона/квазирегулярный участок, как непосредственно на ближнем конце относительно отражения на переднем разьеме, так и относительно локальных неоднородностей, соответствующих, например, сварным соединениям или стыкам с помощью механических соединителей.



Мертвая зона на ближнем конце



Мертвая зона относительно неоднородности с отражением



Мертвая зона относительно неоднородности без отражения

В общем случае, граница раздела мертвая зона/квазирегулярный участок соответствует точке пересечения заднего (правого) спадающего фронта отраженного импульса искаженного участка рефлектограммы и прилегающего к неоднородности справа квазирегулярного участка, при этом прямая линия усредненной характеристики обратного рассеяния данного квазирегулярного участка воспроизводится с погрешностью не хуже  $\pm\Delta=0,1$  дБ.