

# Измерение затухания

Измерение затухания осуществляется на всех стадиях производства оптического кабеля, строительства и эксплуатации ВОЛС. Измеряют коэффициент затухания ОК, затухание строительных длин, затухание смонтированного участка регенерации, затухание соединений ОВ.

Для оценки затухания ОВ необходимо измерить мощности оптического сигнала на входе и выходе ОВ. Основные проблемы измерения затухания ВОЛС связаны с вводом оптического излучения в ОВ. Наиболее существенная из этих проблем — неопределенность ввода мощности оптического излучения в ОВ. Величина неопределенности уровня введенной в ОВ мощности зависит от качества обработки входного торца световода, точности юстировки возбуждающего пучка излучателя относительно данного торца, соотношения между показателями преломления сердцевины ВС и среды, заполняющей пространство между сердечником и излучателем и т.д.

Кроме того, для однозначного определения затухания необходимо на входе ОВ обеспечить такой режим распространения по нему оптического излучения, при котором сохраняется постоянное распределение мощности между его модами — равновесное распределение мод (RRM). При вводе оптического излучения в ОВ наряду с направляемыми модами в сердцевине возбуждаются излучаемые и оболочечные моды. Их нужно подавлять для обеспечения RRRM. Для этой цели применяют смесители мод (или скремблеры) и модовые фильтры.

Из всех известных методов широкое применение на практике получили:

- 1) Метод обрыва.
- 2) Метод вносимого затухания.
- 3) Метод обратного рассеивания.

Первые два относятся к прямым методам. Они достаточно просто реализуются относительно недорогими средствами.

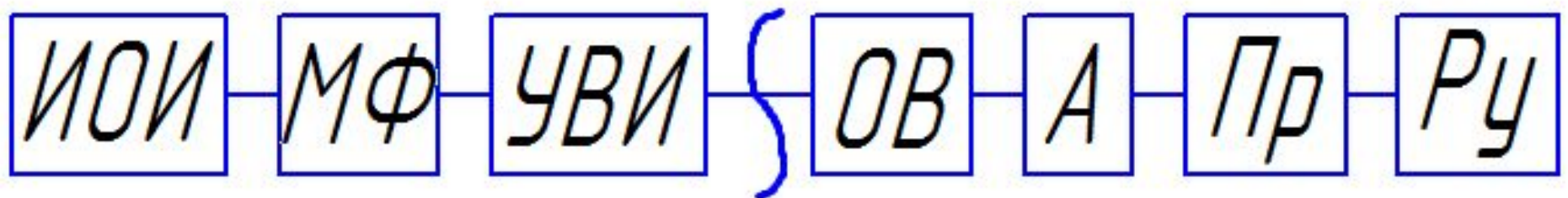
Метод обратного рассеивания требует применения специальных дорогостоящих средств измерения—оптических рефлектометров.

## ***Метод обрыва***

Принцип метода основан на известном определении затухания линии по формуле

$$\alpha = P_{вх} - P_{вых}, \text{ дБ.}$$

Для этого необходимо измерить мощности на входе и выходе волокна, а затем рассчитать затухание кабеля.



- ИОИ—источник оптического излучения.  
Устройство ввода излучения в измеряемое ОВ обеспечивает юстировку входного конца волокна в трех взаимно перпендикулярных плоскостях для обеспечения максимальной вводимой энергии в ОВ.
- ФМ—фильтр мод оболочки обеспечивает вывод мод, распространяющихся по оболочке ОВ.
- УВИ—устройство ввода излучения
- Пр—приемник излучения.
- А—адаптер предназначен для подключения неоконцованного ОВ к приемнику излучения.
- РУ—регистрирующее устройство обеспечивает регистрацию электрических сигналов во всем диапазоне уровней, поступающих от приемника излучения

Метод основан на сравнении мощностей оптического излучения, измеренных при неизменных условиях ввода на выходе измеряемого образца ОВ длиной  $l$  ( $P_{\text{вых}}$ ) и на входе его короткого участка ( $P_{\text{вх}}$ ), образованного за счет обрыва волокна в начале измеряемого образца ( $l_0=1\text{м}$ ).

- «+» — высокая точность измерений.
- «-» — его разрушающий характер.

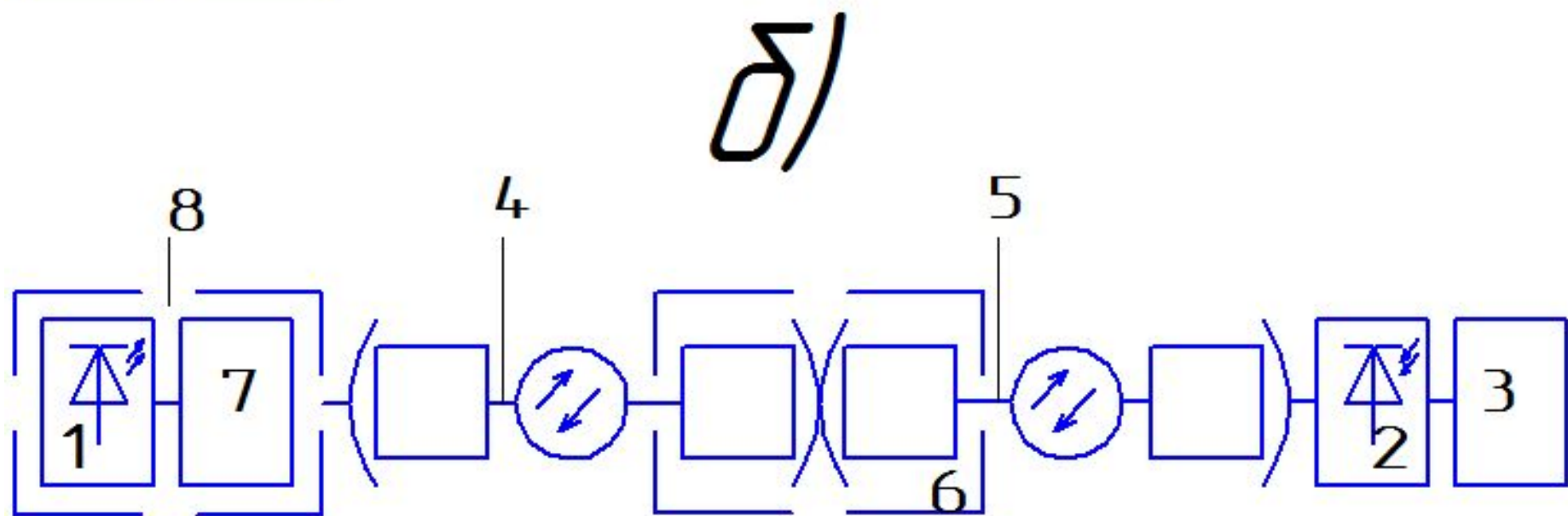
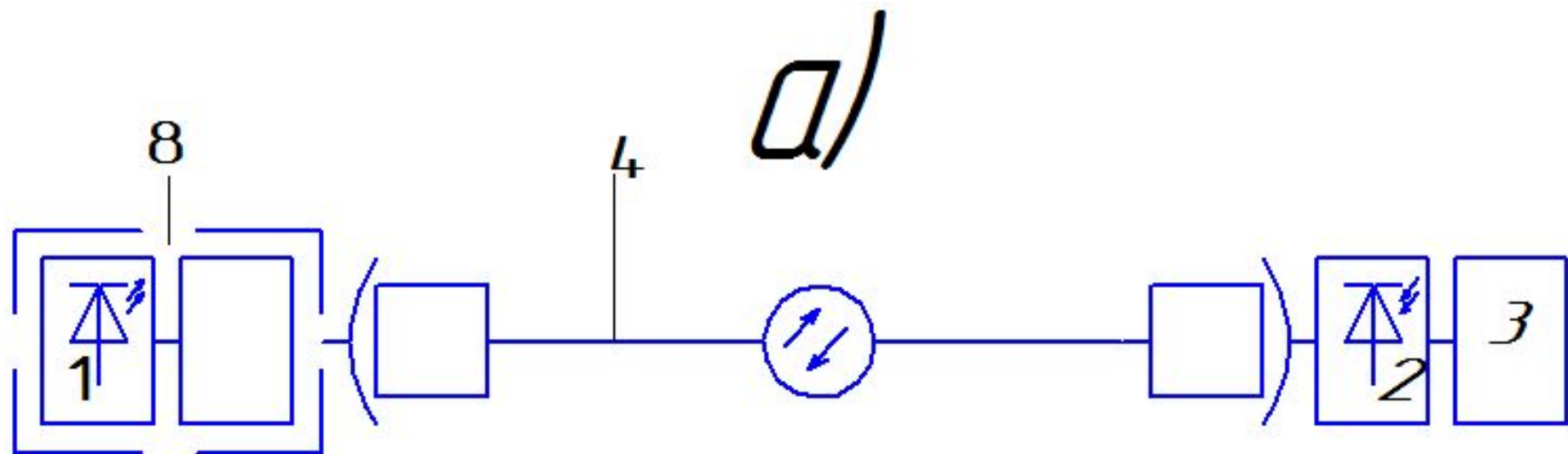
Применяется при входном контроле ОВ.



## ***Измерение вносимого затухания.***

Оптически вносимыми потерями называют отношение суммарной мощности оптического излучения на входных оптических полюсах компонента ВОСП к суммарной мощности оптического излучения на выходных полюсах компонентов ВОСП, выраженное в децибелах.

В данном методе при измерении вносимого затухания определяют разность уровней мощности, воспринимаемой приемником излучения при его непосредственном подключении к источнику излучения, и мощности, поступающей на приемник при его включении на выходе измеряемого волокна, концы которого армированы оптическими соединителями.



- Источник оптического излучения.
- Приемник оптического излучения.
- Индикатор уровня мощности, принимаемой приемником.
- Короткий отрезок ОВ (1-3 м).
- Измеряемое ОВ.
- Проходные розетки для разъёмного соединения армированных волокон.
- Модовый фильтр.
- «эквивалентный источник излучения».
  - а) схема измерения уровня мощности оптического излучения на выходах «эквивалентного источника излучения».
  - б) схема измеряемого ОВ.

$$\alpha_{\text{вн}} = P_{\text{вх}} - P_{\text{вых}}, \text{ дБ}$$

погрешность данного метода относительно велика, однако она вполне приемлема для паспортизации регенерационных участков и в условиях эксплуатации.

## ***Метод обратного рассеивания.***

В основе метода лежит явление обратного рэлеевского рассеивания. При реализации этого метода измеряемое волокно зондируют оптическими импульсами, вводимыми в ОВ через оптический направленный ответвитель. Из-за флуктуаций показателя преломления сердцевины вдоль волокна, отражений от рассеянных и локальных неоднородностей, распределенных по всей длине волокна, возникает обратнорассеянный поток. Мощность этого потока, измеренная в точке ввода оптических зондирующих импульсов в ОВ с некоторой задержкой  $t$  относительно момента послылки зондирующего импульса, пропорциональна мощности, обратно рассеянной в точке кабеля, расположенной на

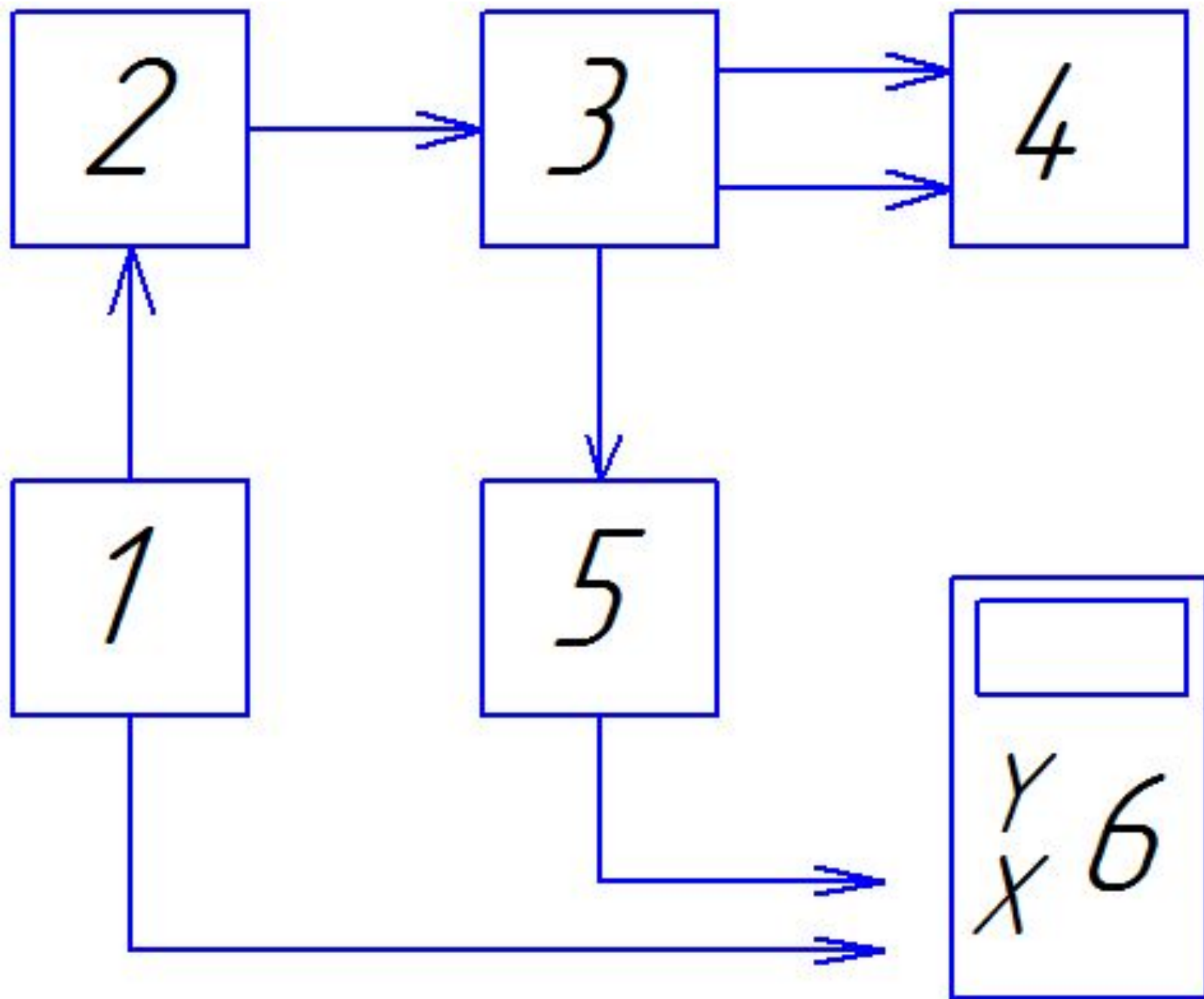
от места измерения, где  $V$ —групповая скорость распространения оптического импульса.

Соответственно, при измерении с конца кабеля зависимости мощности обратно рассеянного потока от времени определяется характеристика обратного рассеяния волокна. По этой характеристике можно определить функцию затухания по длине с конца кабеля, фиксировать местоположение и характер неоднородностей. Как правило, регистрируют отдельные реализации характеристики обратного рассеяния, а затем их усредняют во времени и уже усредненные значения выводят на устройство отображения.

Для реализации данного метода разработаны специальные приборы— оптические рефлектометры во временной области. Эти приборы обеспечивают одновременное определение целого ряда важнейших параметров:

- степени регулярности кабеля;
- мест неоднородностей и повреждений;
- потерь в местах соединений;
- затухания и др.

Упрощенная структурная схема измерения затухания МОР.

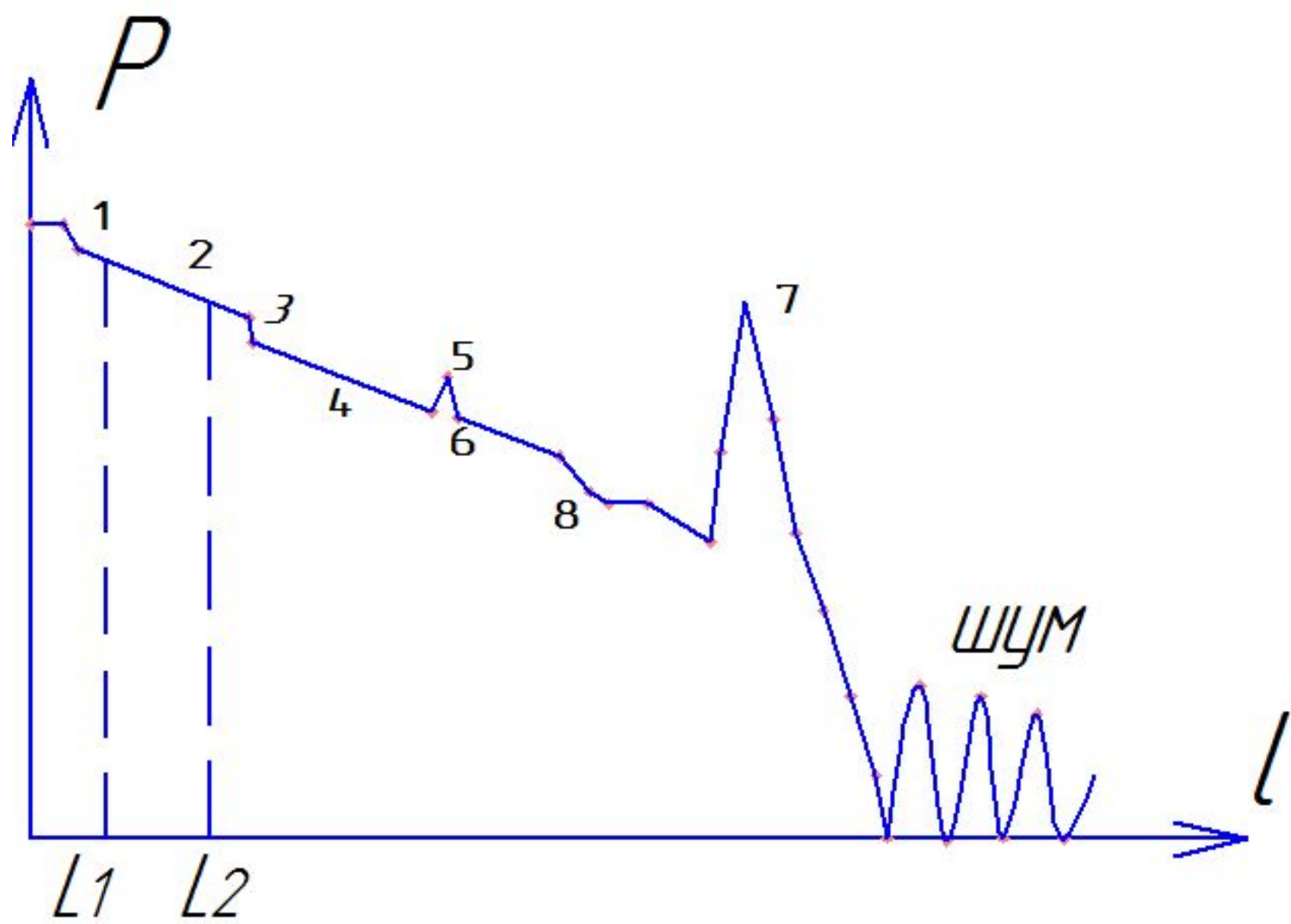




- 1- Блок управления;
- 2- Источник излучения (ИИ);
- 3- Направленный ответвитель;
- 4- Измеряемое ОВ;
- 5- Фотоприемное устройство;
- 6- Устройство отображения.

Зондирующие импульсы поступают от ИИ 2 через направляющий ответвитель 3 в оптическое волокно 4. Поток обратного рассеивания регистрируется в чувствительном фотоприемнике 5 и преобразуется в электрический сигнал, который после специальной обработки подается на вход устройства отображения 6. При использовании в качестве устройства отображения электронного осциллографа, этот сигнал вызывает соответствующее отклонение луча по оси Y на экране. Положение луча по оси X изменяется в зависимости от времени запаздывания сигнала  $t$ . Блок управления 1 обеспечивает согласованную работу лазера и электронного осциллографа. В результате, генератор развертки, запускаемый тем же импульсом, что и лазер, создает возможность наблюдения потока обратного рассеяния и их усреднения.

К основным недостаткам рефлектометров следует отнести относительно небольшой динамический диапазон, что обусловлено малой мощностью излучений обратного рассеяния. Кроме того, рефлектометры являются весьма сложными и дорогостоящими приборами.



Здесь участки рефлектограммы могут быть идентифицированы следующим образом:

- 1 – Начальный выброс уровня мощности обратнорассеянного сигнала, обусловленный френелевским отражением при вводе оптического излучения в ОВ (в разъёмных оптических соединителях и т.д.);
- 2,4,6 – участки рефлектограммы, на которых изменения мощности обратнорассеянного сигнала обусловлены потерями в ОВ за счет рассеяния и поглощения;
- 3 – потери на локальном дефекте типа сrostка ОВ;
- 5 – выброс за счет френелевского отражения на локальной неоднородности типа микротрещины, пузырька воздуха и т.п.;
- 7 – выброс, обусловленный френеливским отражением от конца ОВ;
- 8 – изгиб ОВ.

Принцип измерения коэффициента затухания по характеристике обратного рассеяния ОВ заключается в следующем. На линейном монотонном участке характеристики волокна (2) строительной длины кабеля выделяют две точки, в которых измеряют уровни мощности обратнорассеянного потока  $P_1$  и  $P_2$ , расстояния от начала линии до этих двух точек  $L_1$  и  $L_2$ . Затем коэффициент затухания определяется по формуле

$$\alpha = \frac{P_1 - P_2}{L_1 - L_2}$$

## Методы измерения дисперсии

Рабочая полоса частот (полоса пропускания  $\Delta F$ ) ОК определяет число передаваемых по нему каналов связи и лимитируется дисперсией ОВ.

В реальных условиях обычно нормируется полоса пропускания на один километр  $\Delta F$  и определяется на всю линию по формулам

$\Delta F_x = \Delta F / L_x$  – для коротких линий

$\Delta F_x = \Delta F / \sqrt{L_x L_c}$  для длинных линий

В этих соотношениях параметры с индексом  $x$  искомые, а без индекса — заданные;

$L_c$  — длина связи мод.

Т.о. полоса пропускания (дисперсия) относится к основным параметрам оптических кабелей, определяющим информационно-пропускную способность кабеля. Для измерения ПП многомодовых кабелей могут быть использованы импульсные и частотные методы.

ПП  $\Delta F$  зависит от уширения импульсов  $t$  и определяется соотношением  $\Delta F=1/t$



## ***А) импульсный метод***

Метод основан на последовательной регистрации импульсов оптического излучения на выходе волокна измеряемого кабеля и на выходе его короткого отрезка, образованного за счет обрыва в начале волокна. Для измерения отбирают отрезки кабеля с известной длиной, прошедшие испытание на оптическую целостность методом обратного рассеяния.

Передаточную характеристику в частном представлении  $K(j\omega)$  определяют по формуле

$$K(j\omega) = \frac{P_1(j\omega)}{P_2(j\omega)}$$

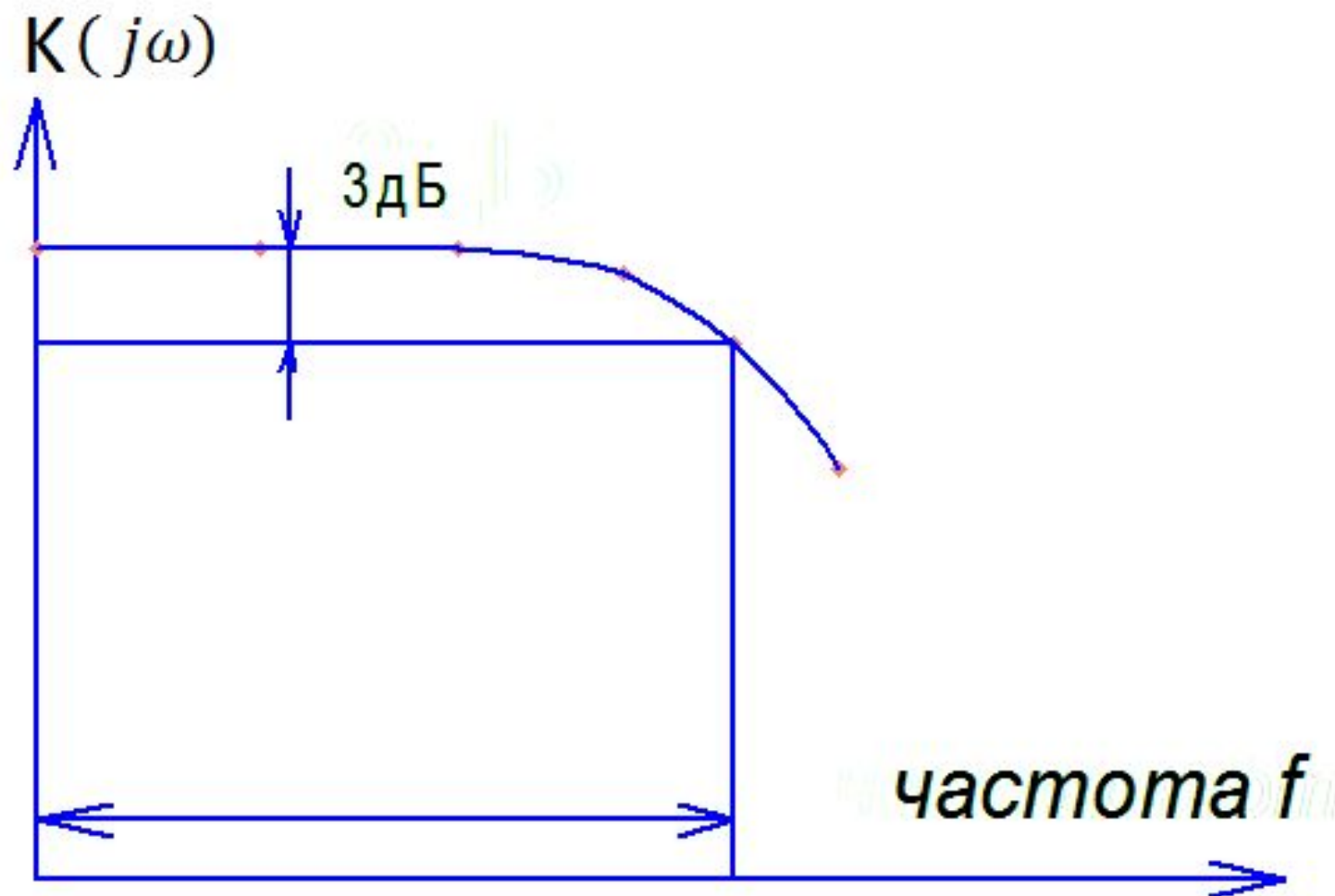
Где  $P_1(j\omega)$  и  $P_2(j\omega)$ —спектральная плотность мощности импульса на входе и выходе волокна измеряемого кабеля.

Модуль комплексной функции  $K(j\omega)$  есть амплитудно-частотная модуляционная характеристика измеряемого кабеля. Значение спектральной плотности мощности входного (выходного) импульсов определяют по формуле

$$P_{1,2}(j\omega) = \int_{-\infty}^{+\infty} U_{1,2}(t)e^{-j\omega t} dt$$

Где  $U_{1,2}(t)$ —зарегистрированный импульс на входе (выходе) волокна измеряемого кабеля.

Значение ширины ПП принимают равной частоте, на которой амплитудно-частотная характеристика изменилась (уменьшилась) на 3 дБ (0,5).



Если импульсы на входе и выходе измеряемого кабеля имеют гауссовскую форму, то ПП определяют на основании измерения длительности импульсов.

$$\Delta F_L = 440 \sqrt{tu^2_{\text{ВЫХ}} - tu^2_{\text{ВХ}}}$$

Где  $tu_{\text{ВХ}}$ ,  $tu_{\text{ВЫХ}}$  — определяемые по уровню 0,5 длительности импульсов на входе и выходе кабеля соответственно.

Поскольку величин  $\tau = \sqrt{tu^2_{\text{ВЫХ}} - tu^2_{\text{ВХ}}}$

Есть оценка дисперсии кабеля, то импульсный метод и является методом измерения дисперсии.

## ***Б) Частотный метод***

Основан на сравнении зависимостей изменения сигнала на выходе волокна измеряемого кабеля и на выходе короткого его отрезка от частоты модуляции оптического сигнала.

С помощью задающего генератора устанавливают частоту модуляции оптического сигнала. Изменяя частоту модуляции, регистрируются зависимости переменной составляющей сигнала от частоты модуляции. Не изменяя положения волокна в устройстве ввода, обламывают волокно после фильтра мод оболочки, оставляя отрезок волокна длиной  $(1 \pm 0.2)$  м. Подготовленный выходной торец волокна устанавливают относительно приемной площади так, чтобы на нее попадало все излучение с выходного торца. Вновь регистрируют зависимость переменной составляющей сигнала на выходе короткого отрезка волокна от частоты модуляции.

Строят график отношения значений сигналов переменной составляющей на выходе короткого отрезка и всего кабеля от частоты модуляции, т. е. АЧХ измеряемого оптического кабеля.

Значение ширины полосы пропускания ОК принимают равной частоте, на которой амплитуда сигнала АЧХ уменьшилась на 3 дБ.

Коэффициент широкополосности  $K$  оптического волокна измеряемого кабеля определяют по формуле

$$K = \Delta F * L^m$$

- $\Delta F$ —ширина полосы пропускания измеряемого оптического кабеля, МГц;
- $L$ —длина измеряемого кабеля, км;
- $m$ —эмпирический параметр, установленный в стандартах или тех условиях на конкретный ОК.

Для одномодовых кабелей нормируется хроматическая дисперсия.

Для измерения хроматической дисперсии одномодовых кабелей используется метод временной задержки и фазовый. Оба метода удовлетворяют требованиям точности и воспроизводимости результатов. Метод временной задержки реализовать сложнее, поскольку из-за того, что значения коэффициента хроматической дисперсии кабелей связи менее 1,5 (нс/км\*нм), он требует применения чрезвычайно быстродействующих устройств.



Фазовый метод более прост в реализации. Он основан на измерении фазового сдвига сигнала, модулированного по интенсивности излучения, которым зондируются ОВ кабеля на различных длинах волн. Частота модуляции интенсивности обычно фиксирована и лежит в пределах 30..100 МГц. Измерение зависимости фазового сдвига  $\phi$  между сигналами от длины волны  $\lambda$  позволяет найти зависимость временной задержки сигнала  $\Delta\tau$  от  $\lambda$  и ее производную (хроматическую дисперсию)

$$\Delta\tau(\lambda) = \frac{\partial\tau(\lambda) / \partial\lambda}{L} = \frac{\partial\phi(\lambda) / \partial\lambda}{L}$$

Обычно измерения  $\Delta t(\lambda)$  производят по точкам, а затем полученную зависимость  $\Delta t(\lambda)$  аппроксимируют многочленом.

Точность данного метода порядка 1,0 (нс/км\*нм).

Все вычисления и сам процесс измерения выполняются автоматически с помощью микропроцессорных устройств, встроенных в средства измерения.