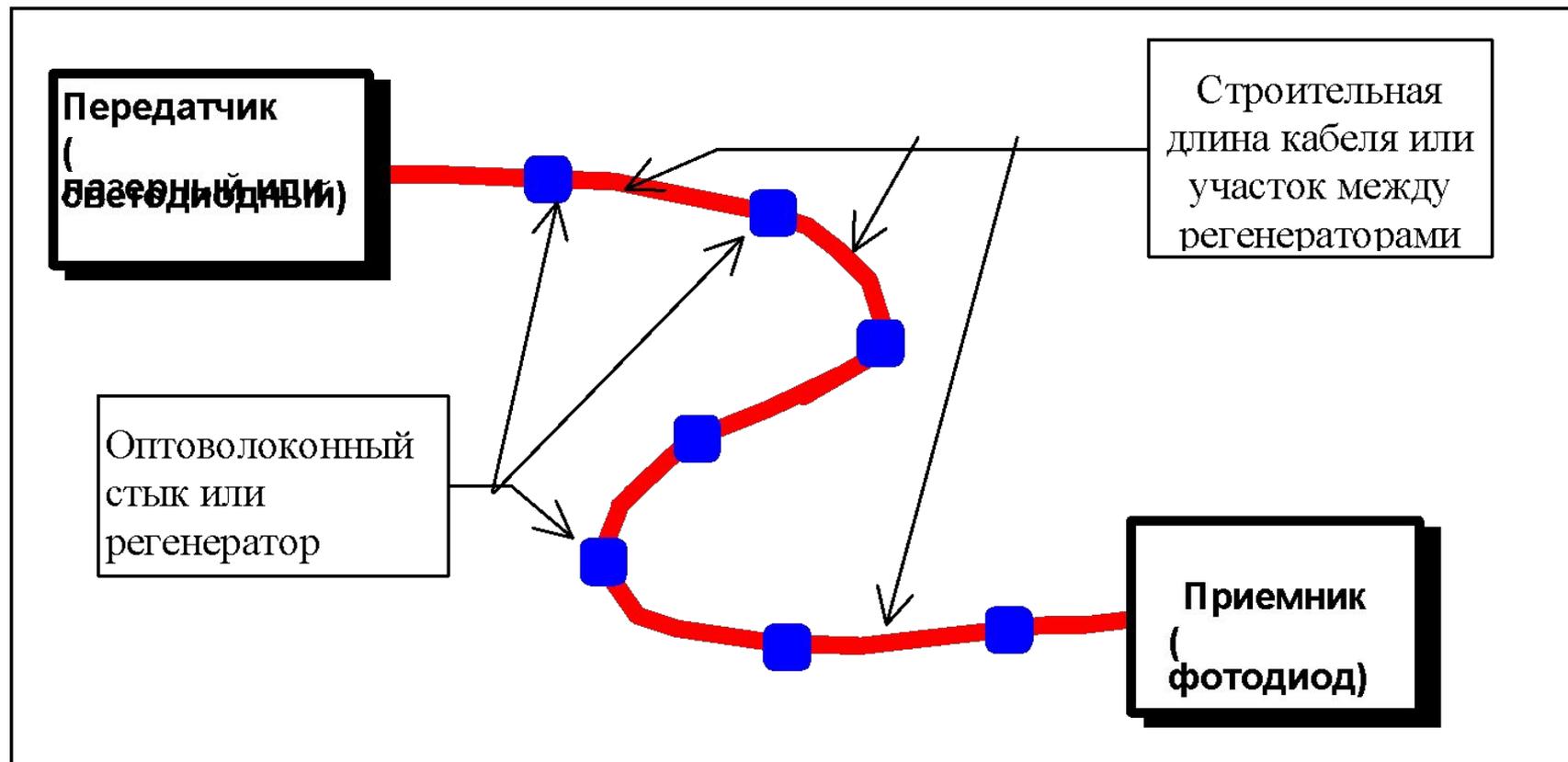


Основы измерений на ВОЛС

КОМОВ Е.Ю.

Типичная ВОЛС



Основной параметр ВОЛС

- Затухание оптического сигнала по мере его распространения по волокну

Затухание сигнала определяют по формуле:

$$a = 10 \lg(P_1 / P_2)$$

- где a - затухание, дБ; P_1 -мощность сигнала в точке 1; P_2 -мощность сигнала в точке 2.

ИЛИ

$$a = p_1 - p_2$$

p_1, p_2 – уровни сигнала по мощности в точках 1 и 2 соответственно, дБм

Наиболее распространенные методы измерения затухания:

- Метод двух точек
- Метод обратного рассеяния

Определение потерь в ОВ (метод двух точек)

- Суть метода заключается в подаче светового сигнала определенного уровня на вход волокна и измерения уровня сигнала на выходе волокна.
- Разница между этими двумя уровнями – измеренная в децибелах (дБ) – будет представлять собой **полное затухание** (иногда его называют "вносимыми потерями").

Используемое оборудование

- Калиброванный источник света
- Оптический ваттметр (измеритель оптической мощности)

Источник оптического излучения



Технические данные источников оптического излучения Photom

Модель	351	352	362	363
Тип излучателя	Светодиодный		Лазерный	
Длина волны, нм	850±15	1310±15	1310±30	1550±30
Используемое волокно	MM	MM, SM	SM	
Уровень выходного сигнала (CW)	>-25 дБм	>-30 дБм (MM) >-45 дБм (SM)	>-5 дБм	
Полуширина спектра	≤60 нм	≤140 нм	≤ 10 нм	
Стабильность	< 0,4 дБ ¹⁾			
Кратковременная стабильность	<0,02 дБ ²⁾		<0,05 дБ ²⁾	
Режим излучения	Непрерывный: CW Модулированный: 270 Гц, 1 кГц, 2 кГц			
Оптический адаптер	180-FC ³⁾		181-FC ³⁾	
Дополнительные функции	Автоматическое отключение питания			
Условия эксплуатации и хранения	Эксплуатация: от 0 - +40°С, хранение: от -20 - +50° С, при влажности: не более 80%			
Электропитание	Сухой элемент питания типа АА (1 шт) или Ni-Cd аккумулятор (1 шт) Время непрерывной работы от батареи 2 часа			
Размеры (Д x Ш x В), мм	65 x 120 x 24			
Масса, г	130			
¹⁾ В диапазоне от 0 до 40° С (12 часов) ²⁾ В диапазоне от 0 до 40° С (1 час) ³⁾ По заказу может быть установлен оптический адаптер SC /ST /DIN /BC /MIC				

Измерители оптической мощности

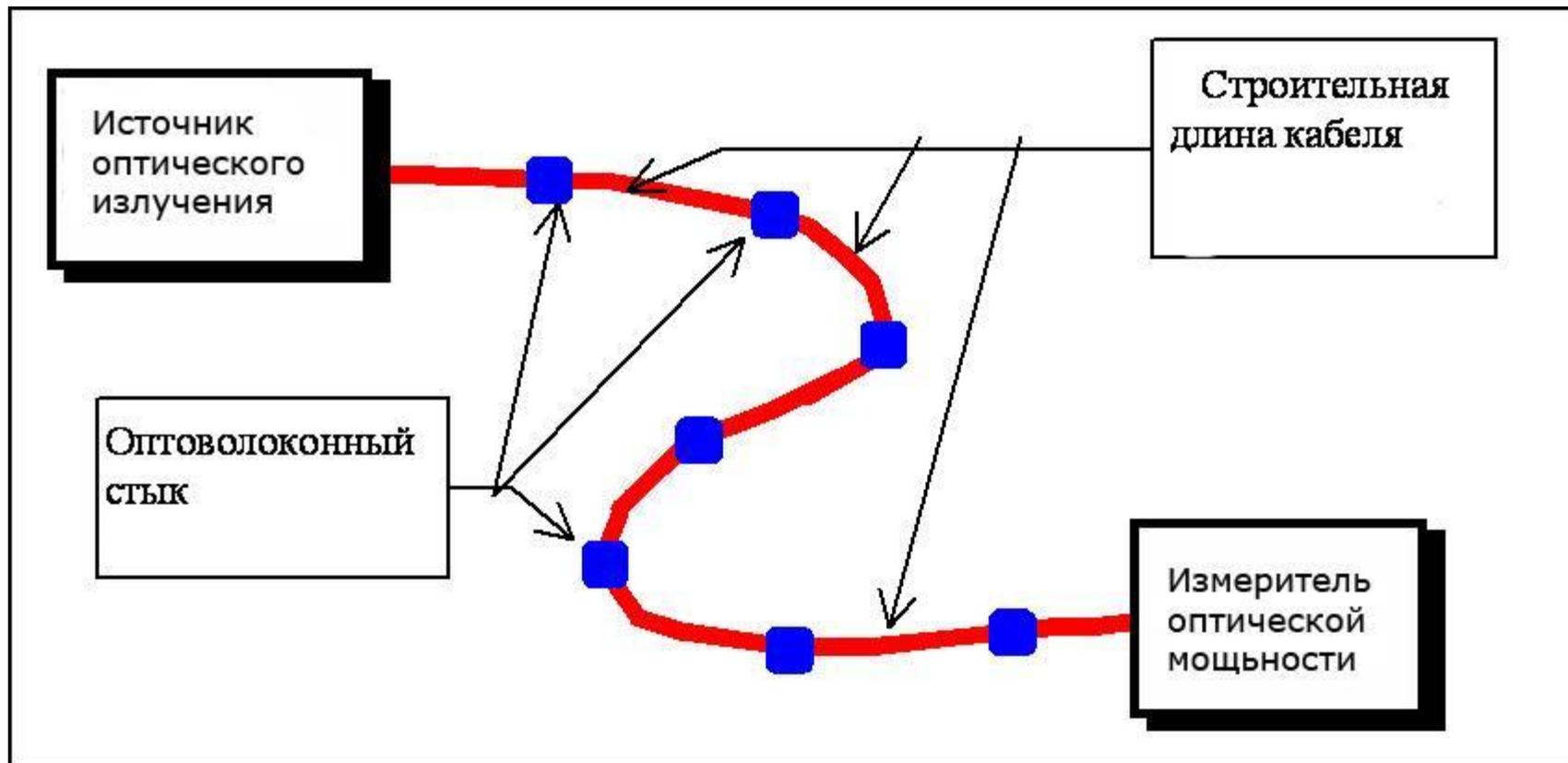


Технические измерителей мощности Photom

Модель	211A	213A	217H	212B
Тип фотодетектора	InGaAs диаметр - 1 мм			
Используемое волокно	SM, MM		SM	
Длины волн калибровки, нм	850, 1310, 1550	1310, 1550, 1625	1310, 1550	1310, 1490, 1550, 1650
Точность измерений	±0,2 дБ1)			
Диапазон измеряемой мощности	-65 ÷ 5 дБм2), -70 ÷ 53) дБм	-70 ÷ 5 дБм	-50 ÷ 25 дБм	-70 ÷ 5 дБм
Разрешающая способность	0,01 дБ4)	0,01 дБ5)	0,01 дБ4)	
Дисплей	4 значный ЖК			
Функции	Выбор длины волны, автоматическое отключение питания, индикация разряда батарей, сохранение в памяти выбранной длины волны при выключенном питании			
Оптический разъем	180-SC6)			
Рабочая температура	0...+40 С			
Относительная влажность	< 80%			
Электропитание	Элемент питания типа АА 1шт			
Время работы от батареи, ч	≤ 10	≤ 10	≤ 25	≤ 10
Размеры (ДхШхВ), мм	65x120x24			
Масса, г	130			



Схема измерений



Достоинства и недостатки

Достоинства:

- Прямое измерение потерь
- Низкая стоимость измерительного оборудования

Недостатки:

- Невозможность идентификации мест с повышенным затуханием
- Невозможность идентификации неисправностей.

Метод обратного рассеяния

- Используется при измерениях ВОЛС с помощью оптического рефлектометра

Оптический рефлектометр

- Оптический рефлектометр (Optical Time Domain Reflectometer, OTDR) – это электронно-оптический измерительный прибор, используемый для определения характеристик оптических волокон. Он определяет местонахождение дефектов и повреждений, измеряет уровень потерь сигнала в любой точке оптического волокна. Все, что нужно для работы с оптическим рефлектометром, – это доступ к одному концу волокна.

Оптический рефлектометр применяется для того, чтобы:

- Измерять полные потери в волокне для приемки сети и ее ввода в строй, для проверки волокна на барабанах и подтверждения его технических характеристик.
- Измерять потери как в механических, так и в сварных соединениях (оптоволоконных стыках) во время монтажа, строительства и ремонтных работ.
- Измерять отражение, или оптические потери на отражение на оптических разъемах и механических соединениях (оптоволоконных стыках) для CATV (сетей кабельного телевидения), SDH (СЦИ) и других аналоговых или высокоскоростных линий цифровой связи, в которых отражение должно поддерживаться на низком уровне.
- Определять место обрывов и дефектов волокон.
- Проверять, оптимальна ли оптическая соосность волокон при операциях по их сращиванию.
- Обнаруживать постепенное или внезапное ухудшение качества волокна путем сравнения его характеристики с зафиксированными результатами ранее проведенного тестирования.

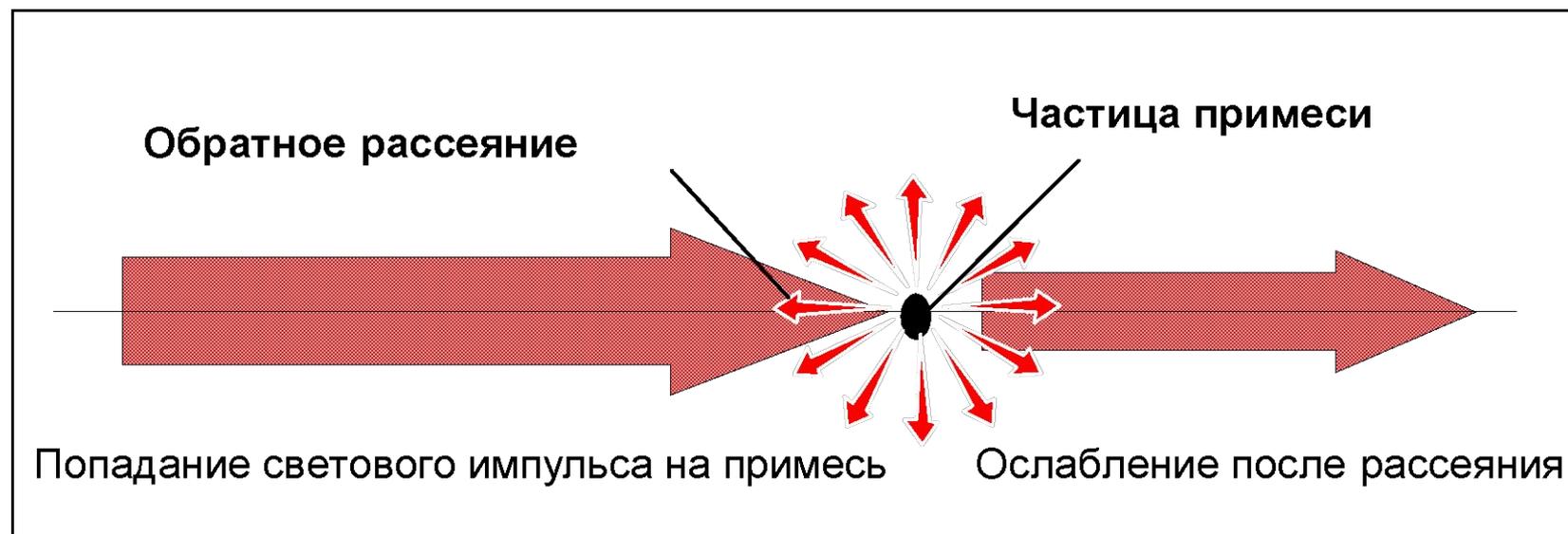
КАК РАБОТАЕТ ОПТИЧЕСКИЙ РЕФЛЕКТОМЕТР

- Для измерения характеристик оптического волокна оптический рефлектометр использует явления **релеевского рассеяния** и **френелевского отражения**. Посылая в волокно световой импульс и измеряя время его распространения и интенсивность его отражения от точек, находящихся внутри волокна, рефлектометр выводит на экран дисплея рефлектограмму "уровень отраженного сигнала в зависимости от расстояния".

Релеевское рассеяние

- При посылке светового импульса по волокну часть импульса натывается на имеющиеся в стекле микроскопические частицы (которые называются "**примесью**") и рассеивается во всех направлениях. Это явление называется **релеевским рассеянием**. Часть световой энергии – около 0,0001% – рассеивается назад, в направлении, противоположном направлению распространения импульса; это называется **обратным рассеянием**. Поскольку в процессе изготовления волокна **примеси** распределяются равномерно по всему волокну, это явление рассеяния возникает по всей его длине.

Релеевское рассеяние



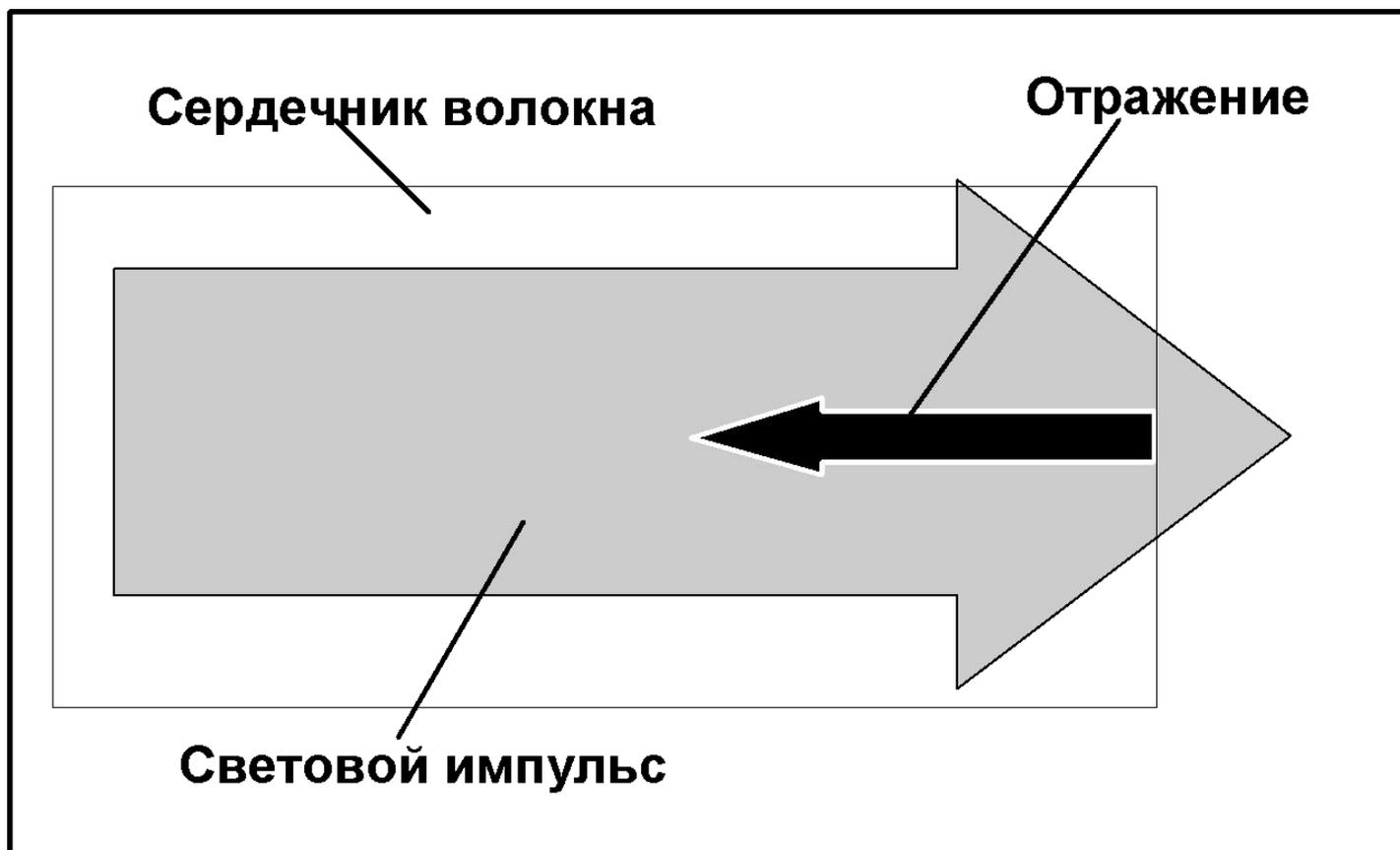
Релеевское рассеяние

- это основная причина потерь, имеющих место в волокне. На более длинных световых волнах рассеяние меньше, чем на более коротких. Так например, свет на 1550 нм теряет из-за релеевского рассеяния от 0,2 до 0,3 дБ на километр (дБ/км), в то время как на 850 нм – от 4,0 до 6,0 дБ/км. Имеющие более высокую плотность примеси также увеличивают рассеяние и, следовательно, повышают уровень удельного затухания. Оптический рефлектометр может измерять уровни обратного рассеяния с большой точностью, используя эту способность для выявления незначительных изменений характеристик волокна в любой его точке.

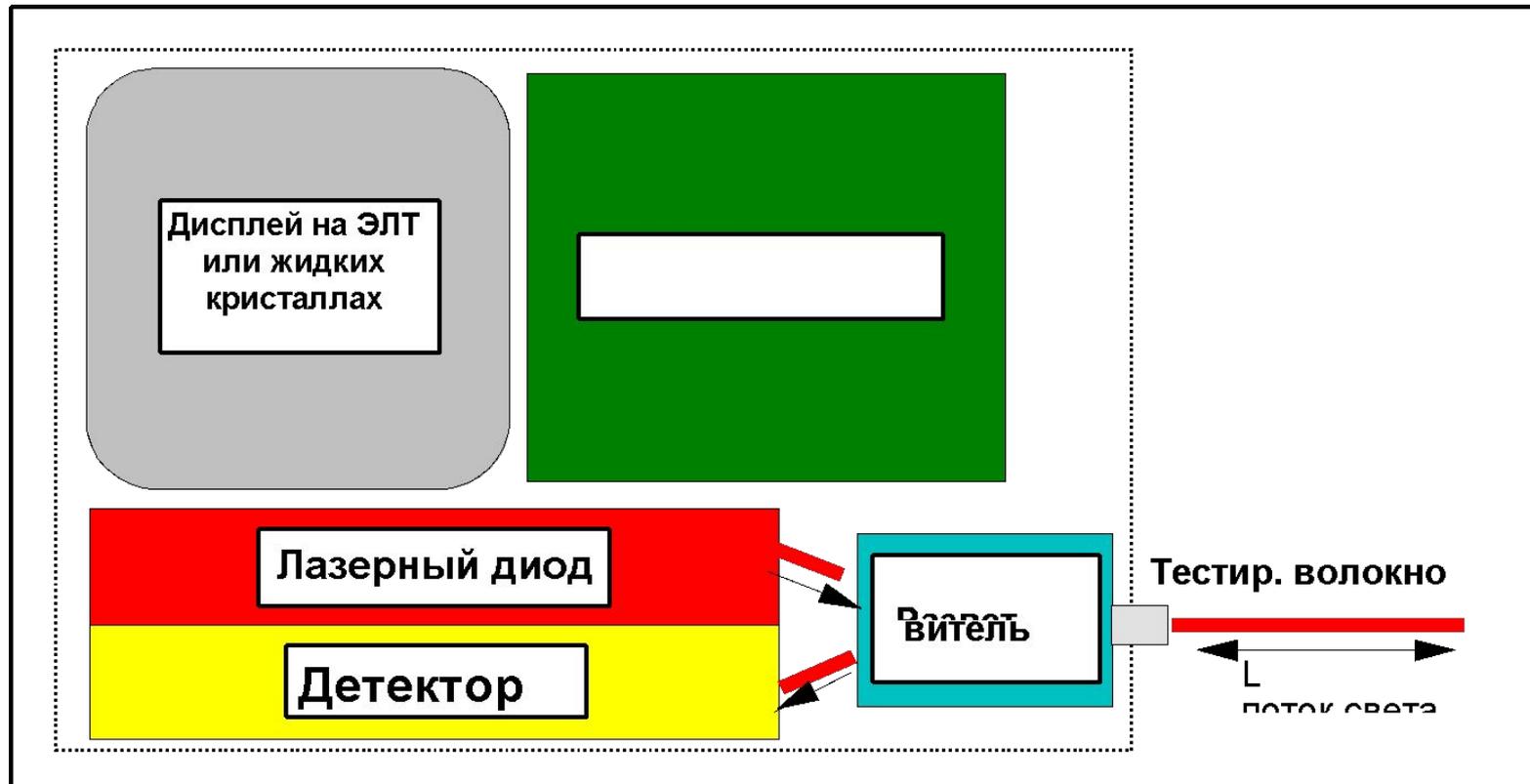
Френелевское отражение

- Всегда, когда свет, распространяющийся в каком-нибудь материале (например, в оптическом волокне), попадает в материал с другой плотностью (например, в воздух), часть световой энергии (до 4%) отражается назад, к источнику света, в то время как остальная световая энергия продолжает распространяться дальше. Резкие изменения плотности материала имеют место **на концах волокна**, у обрывов волокна и, иногда, у оптоволоконных стыков. Количество отраженного света зависит от величины изменения плотности материала (которая характеризуется **показателем преломления** – более высокий показатель преломления означает большую плотность), а также от того угла, под которым свет падает на поверхность раздела между двумя материалами. Это явление называется **френелевским отражением**. Оно используется в оптическом рефлектометре для точного определения мест обрывов волокна.

Френелевское отражение



Блок-схема оптического рефлектометра



Блок-схема оптического рефлектометра

- **Лазер** посылает световые импульсы по команде контроллера. При различных условиях измерения вы можете выбирать различные **длительности импульса**. Свет проходит через разветвитель и входит в тестируемое волокно. У некоторых оптических рефлектометров имеется по два лазера, с помощью которых можно тестировать волокна на двух различных длинах волн. Использовать оба лазера одновременно нельзя. С одного лазера на другой можно переключиться простым нажатием кнопки.

Блок-схема оптического рефлектометра

- У **разветвителя** имеется три порта – один для источника света, один для тестируемого волокна и один для измерителя. Разветвитель – это устройство, позволяющее свету распространяться только в определенных направлениях: ОТ лазерного источника К тестируемому волокну и ОТ тестируемого волокна К измерителю. Свет НЕ может идти от источника прямо к измерителю. Таким образом, импульсы из источника света направляются в тестируемое волокно, а отраженная световая энергия – **обратное рассеяние** и **френелевское отражение** – направляется в детектор.

Блок-схема оптического рефлектометра

- **Детектор** – это фотоприемник, который измеряет уровень мощности света, идущего из тестируемого волокна. Он преобразует оптическое излучение в электрические сигналы соответствующего уровня – чем больше мощность оптического излучения, тем выше уровень электрических сигналов. Измерители оптического рефлектометра специально рассчитаны на измерение крайне низких уровней **обратного рассеяния** световой энергии. В состав измерителя входит и электрический усилитель, предназначенный для дальнейшего повышения уровня электрического сигнала.

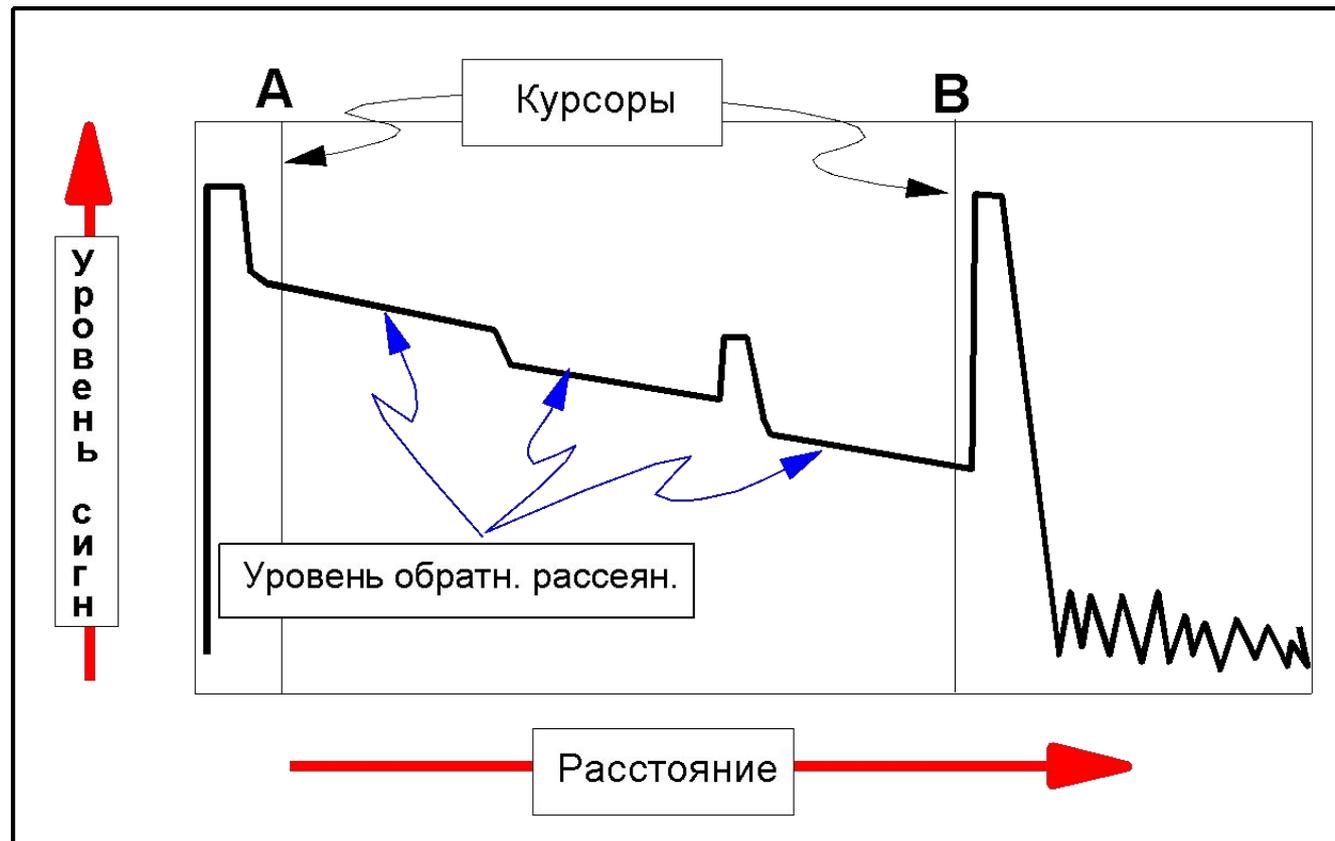
Блок-схема оптического рефлектометра

- **Контроллер** – управляет всеми блоками оптического рефлектометра

Блок-схема оптического рефлектометра

- **Блок дисплея – это экран на ЭЛТ или на жидких кристаллах, на который выводятся точки измерений, образующие рефлектограмму волокна, а также параметры настройки рефлектометра и результаты измерений.**

Блок-схема оптического рефлектометра



Общий вид рефлектограммы

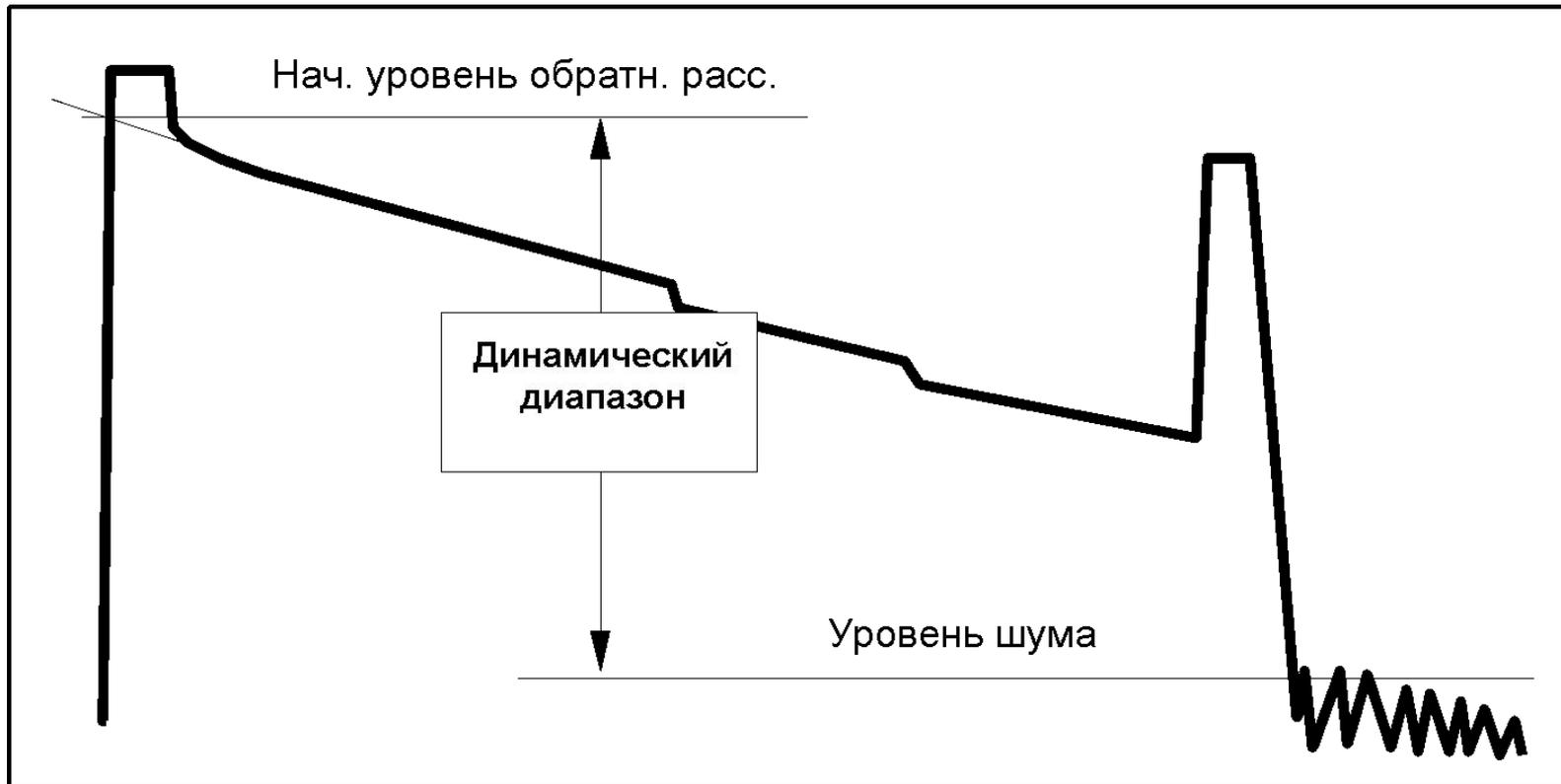
Технические данные оптического рефлектометра

- Динамический диапазон
- Мертвая зона
- Разрешающая способность
- Показатель преломления
- Длина волны
- Тип разъема
- Подключение внешних устройств

Динамический диапазон

- **Динамический диапазон** оптического рефлектометра определяет, какую длину волокна он может измерить. Диапазон выражается в децибелах, причем чем больше значение диапазона, тем больше длина волокна, которое можно измерить.
- Динамический диапазон оптического рефлектометра определяется как разность между уровнем обратного рассеяния на ближнем конце волокна и верхним уровнем среднего значения шума у конца волокна или после него.

Динамический диапазон



Мертвая зона

- это та часть показывающей френелевское отражение рефлектограммы волокна, в которой высокий уровень этого отражения "перекрывает" более низкий уровень обратного рассеяния.

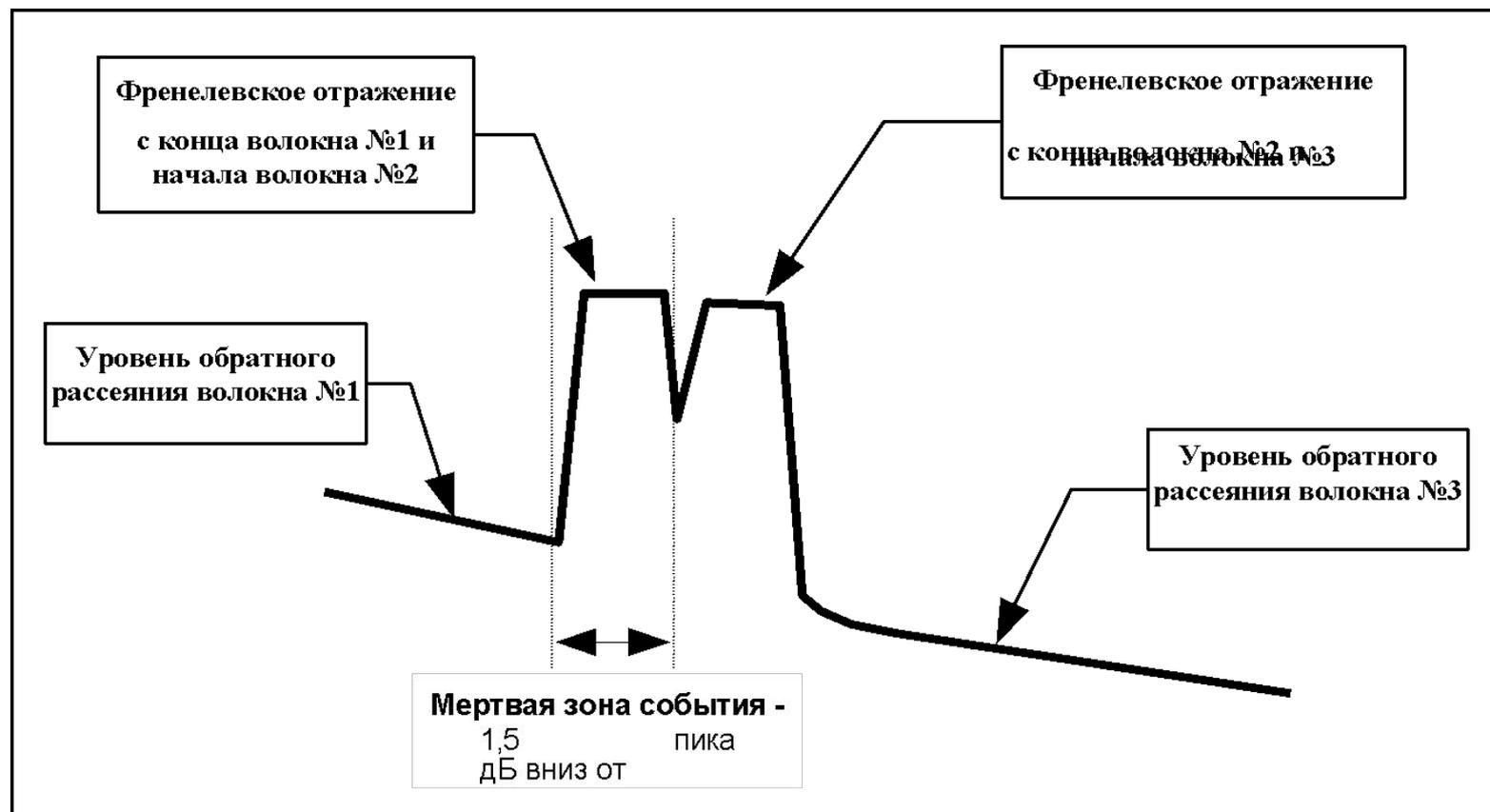
Мертвая зона

- **Мертвые зоны события**
- **Мертвые зоны затухания**

Мертвые зоны события

- **Мертвая зона события** (называемая также **мертвой зоной отражения**) – это расстояние от одного френелевского отражения до другого френелевского отражения, которое можно обнаружить. Такая мертвая зона говорит о том, когда после какого-либо отражения (обычно от разъема у рефлектометра) Вы сможете обнаружить отражение от обрыва или от оптоволоконного соединения. Это имеет значение в том случае, если Вы пытаетесь отделить друг от друга два разных соединения, находящихся менее чем в 30 м друг от друга (например, во время восстановления чувствительности). Наличие короткой мертвой зоны события означает, что после первого оптоволоконного соединения Вы сможете увидеть второе.

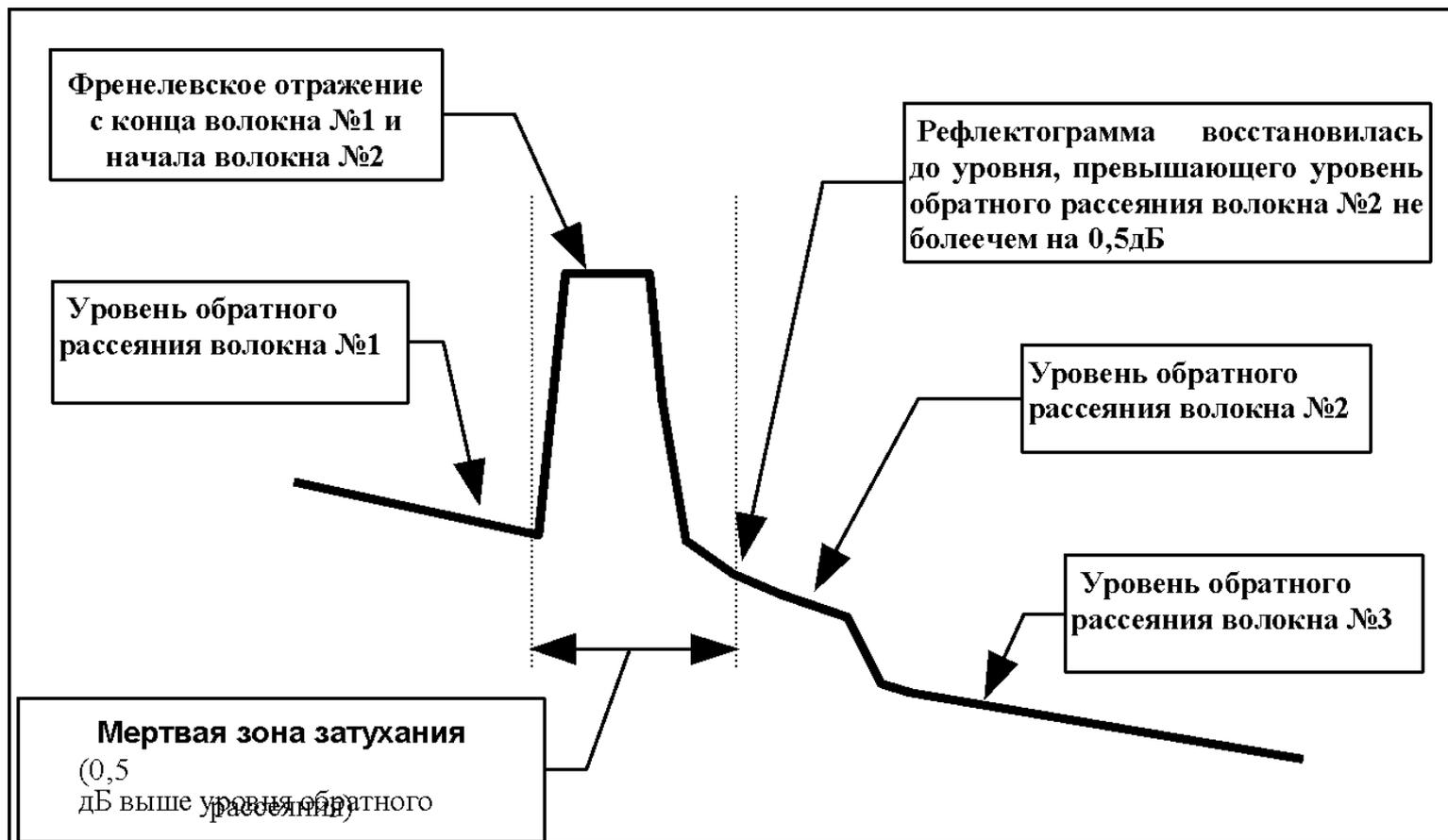
Мертвые зоны события



Мертвая зона затухания

- **Мертвая зона затухания** – это расстояние от какого-либо френелевского отражения до того места, где можно обнаружить обратное рассеяние.
- В этом случае Вы получаете информацию о том, как скоро после отражения Вы сможете измерить второе событие, такую, как сварное соединение (оптоволоконный стык) или дефект волокна.

Мертвая зона затухания



Разрешающая способность

- **Разрешающая способность по потерям (по затуханию)** – это способность измерителя различать воспринимаемые им уровни мощности.
- **Пространственная разрешающая способность (разрешение по расстоянию)** – это параметр, определяющий, насколько близко друг к другу по времени (и, соответственно, по расстоянию) находятся отдельные точки с результатами измерений, образующие рефлектограмму.

Показатель преломления

- Показатель преломления – это соотношение между скоростью света в вакууме и скоростью света в каком-нибудь определенном волокне. Поскольку быстрее всего свет распространяется в вакууме (например, в безвоздушном пространстве), а в плотных материалах (таких, как атмосфера или стекло) распространяется медленнее, то значение этого показателя всегда больше единицы.

Длина волны

- Характеризует те длины волн на который оптический рефлектометр способен производить измерения

Параметры измерений

- Диапазон измеряемых расстояний
- Длительность импульса
- Усреднение
- Длина волны
- Показатель преломления

Параметры измерений

- **Диапазон измеряемых расстояний.** Диапазон измеряемых расстояний называют также **диапазоном длин, выводимых на дисплей**. Он ограничивает длину волокна, которую можно *вывести на экран дисплея*. Диапазон измеряемых расстояний должен быть больше длины тестируемого волокна. Этот диапазон влияет на точность тестирования и на время, нужное для его проведения.

Параметры измерений

- **Разрешающая способность.** При некоторых конфигурациях рефлектометра имеется возможность выбирать разрешающую способность измерений – расстояние (шаг) между точками с результатами измерений. Более высокая разрешающая способность (меньший шаг точек) обеспечит получение большего числа сведений о волокне, но тестирование в этом случае, как правило, займет больше времени, чем при более низкой разрешающей способности.

Параметры измерений

- **Длительность импульса.** Длительность лазерных импульсов можно изменять. Выбирая большую или меньшую **длительность импульса**, можно регулировать уровень отраженного обратного рассеяния, а также размер **мертвой зоны**. Более длительный импульс означает посылку в волокно большего количества световой энергии, которая поэтому пройдет по волокну на большее расстояние и приведет к более высоким уровням обратного рассеяния. *Но это приведет также к большей длительности мертвых зон.* И наоборот, импульс меньшей длительности приведет к тому, что мертвые зоны будут минимальной длительности, но обратное рассеяние окажется слабее.

Параметры измерений

- Импульсы большой длительности обеспечивают рефлектометру максимальный динамический диапазон; они применяются для быстрого обнаружения дефектов и обрывов волокна. Поскольку при более длинных импульсах уровни обратного рассеяния повышаются, то для получения "чистой" рефлектограммы потребуется меньшее время усреднения.

Параметры измерений

- Импульсы меньшей длительности применяются для тестирования той части волокна, которая примыкает к рефлектометру. Они используются и для того, чтобы отличить друг от друга две (или более) неоднородности, близко расположенные друг к другу. Вследствие меньшей длительности мертвой зоны такие импульсы дают возможность обнаруживать более мелкие подробности в обратном рассеянии, идущем сразу же за френелевским отражением. Но из-за более низкого уровня обратного рассеяния требуется большее время усреднения.

Параметры измерений

- Основное правило гласит:
"Длинный импульс – чтобы видеть далеко;
короткий импульс – чтобы видеть вблизи".

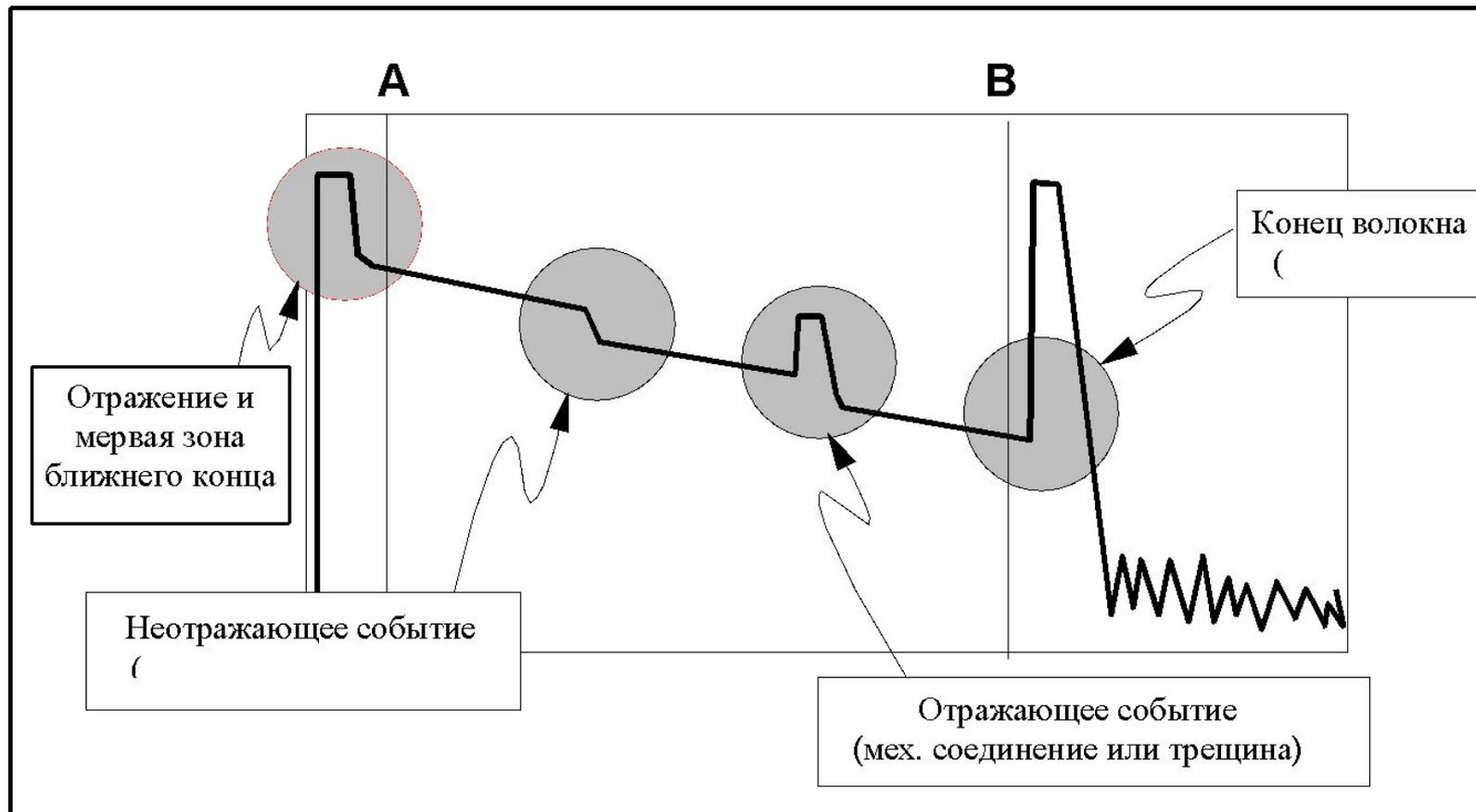
Параметры измерений

- **Усреднение.** Смежные точки с результатами измерений, полученные от одного измерительного импульса, могут отличаться друг от друга, хотя в самом импульсе изменения произошли весьма небольшие. Полученная в результате этого рефлектограмма выглядит "зашумленной" или размытой. Чтобы получить более надежную и гладкую рефлектограмму, рефлектометр каждую секунду посылает тысячи измерительных импульсов. Каждый импульс обеспечивает набор точек измерений, которые затем усредняются с последующими наборами точек, для того чтобы улучшить отношение "**сигнал – шум**" рефлектограммы.

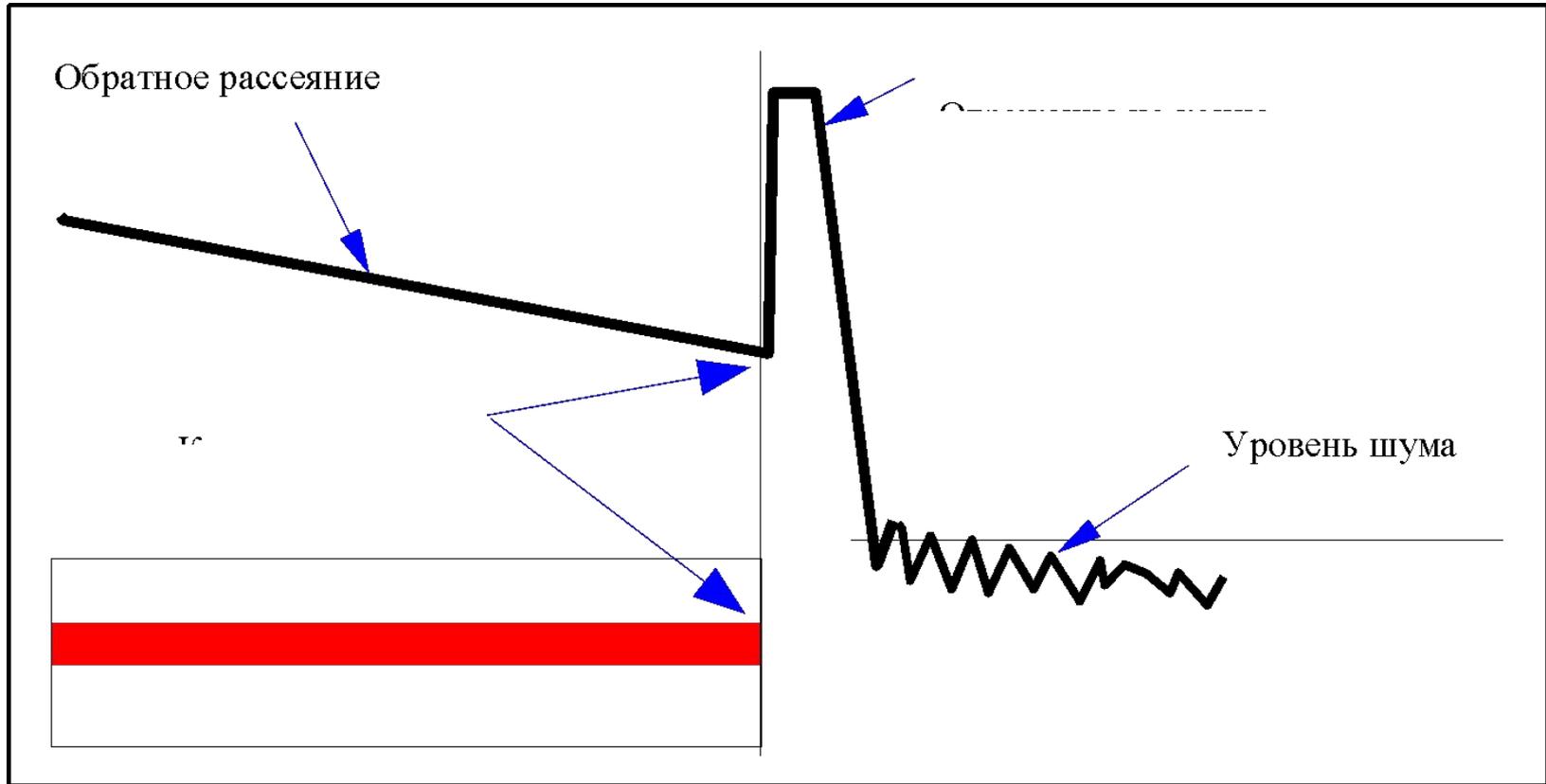
Анализ рефлектограммы

- После завершения сканирования волокна и вывода полученной рефлектограммы на экран дисплея эту рефлектограмму надо проанализировать. Для выделения конечных точек измерений применяются курсоры, а цифровые результаты выводятся на экран.

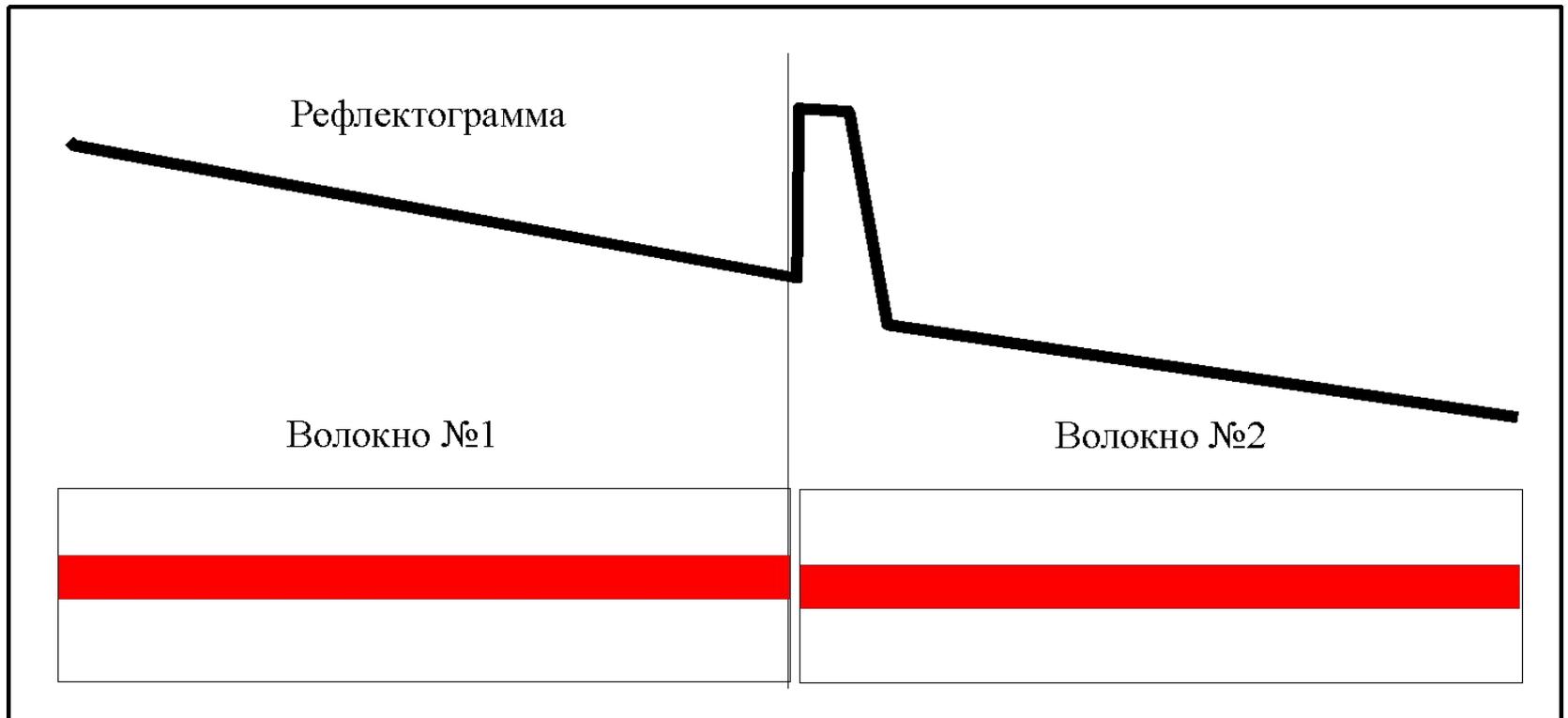
Общий вид рефлектограммы



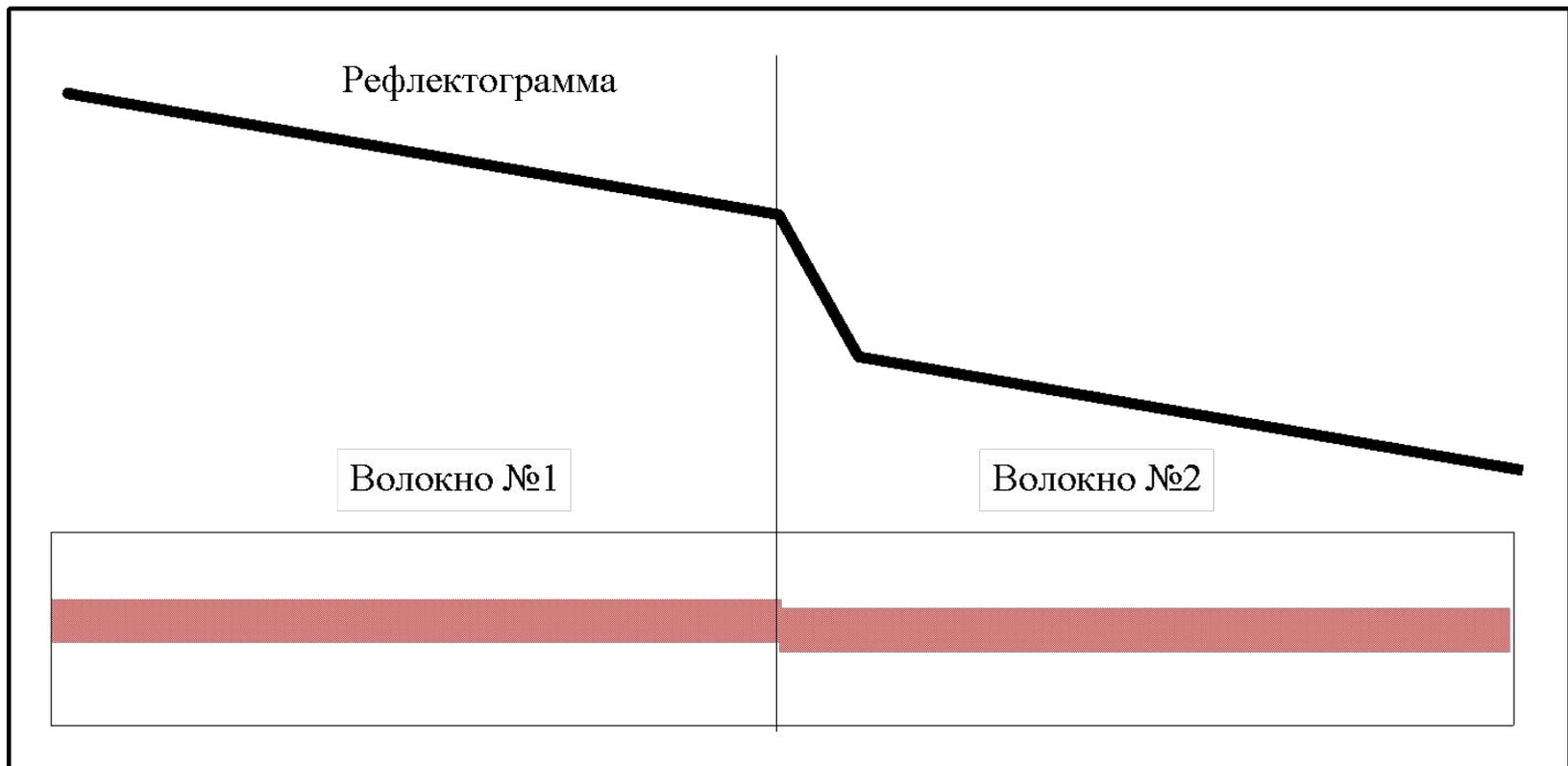
Определение местонахождения конца волокна



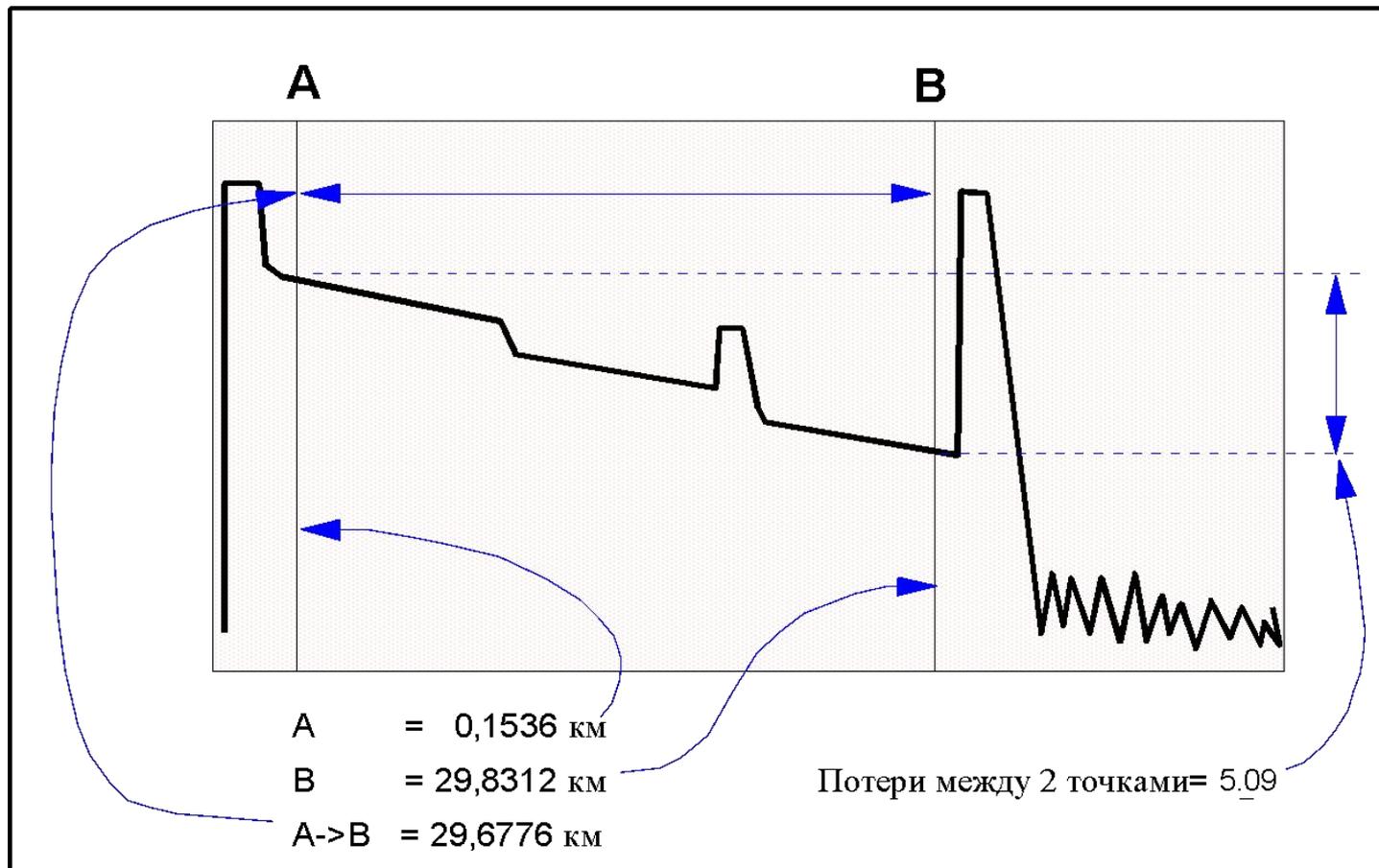
Определение местонахождения отражающего события



Определение местонахождения неотражающего события



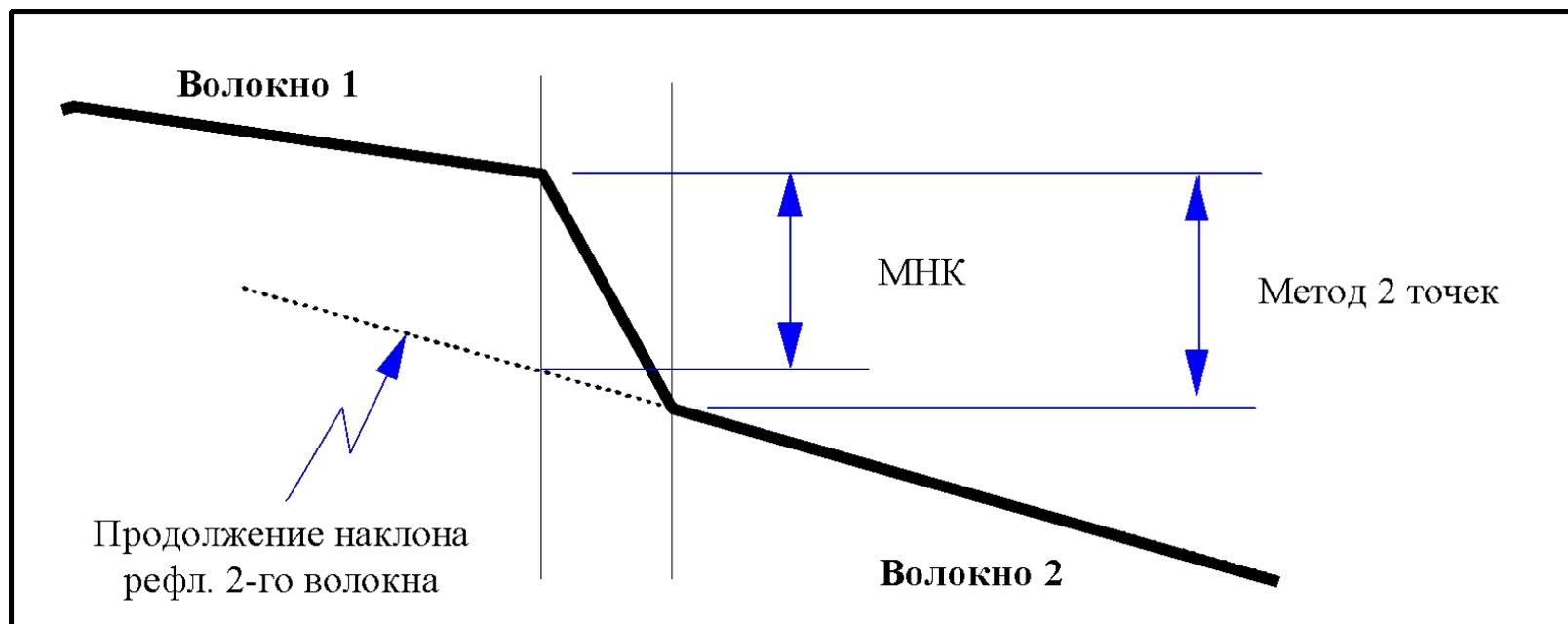
Измерение полных потерь



Измерения потерь на оптоволоконном соединении.

- **Метод двух точек**
- **Аппроксимация по методу наименьших квадратов (МНК)**

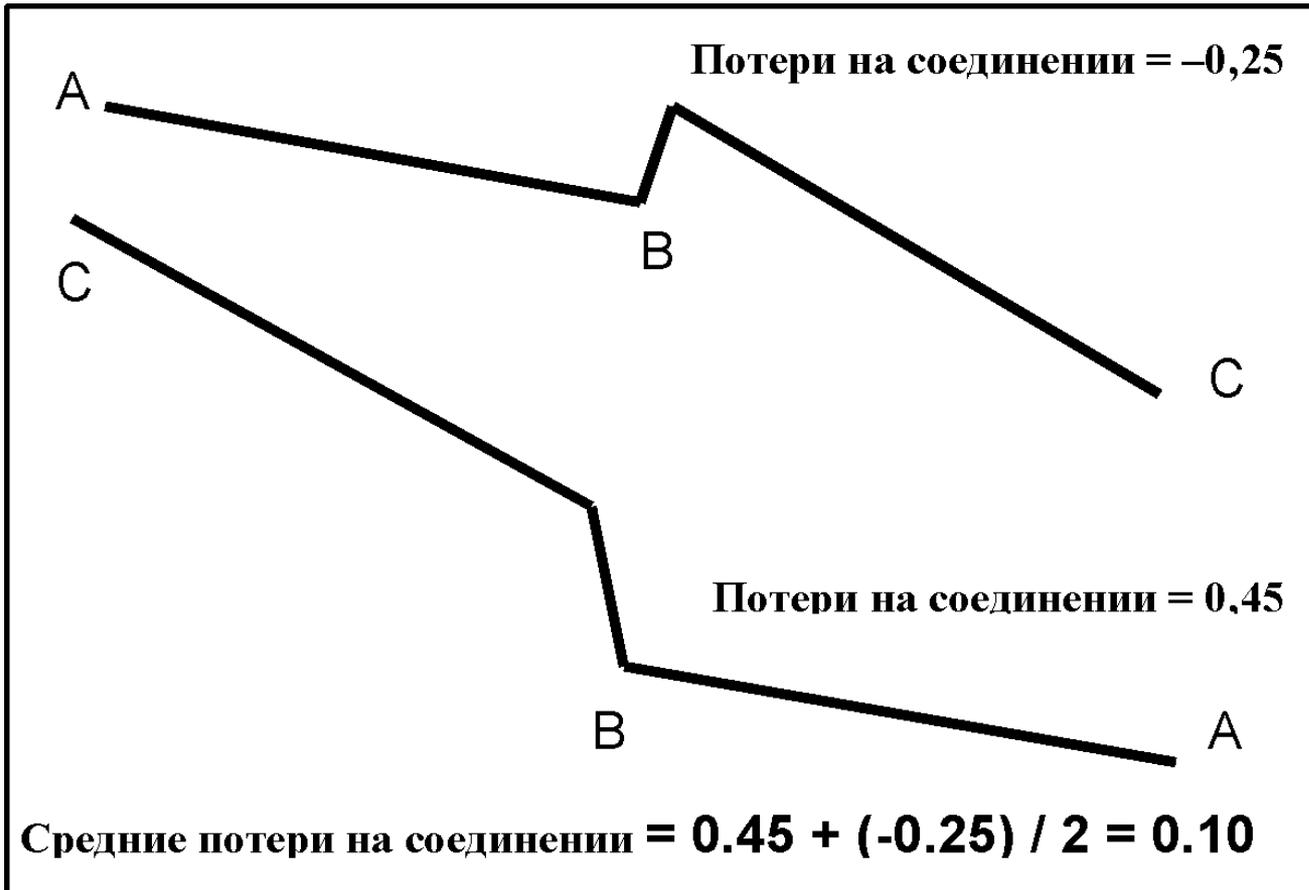
Измерения потерь на оптоволоконном соединении.



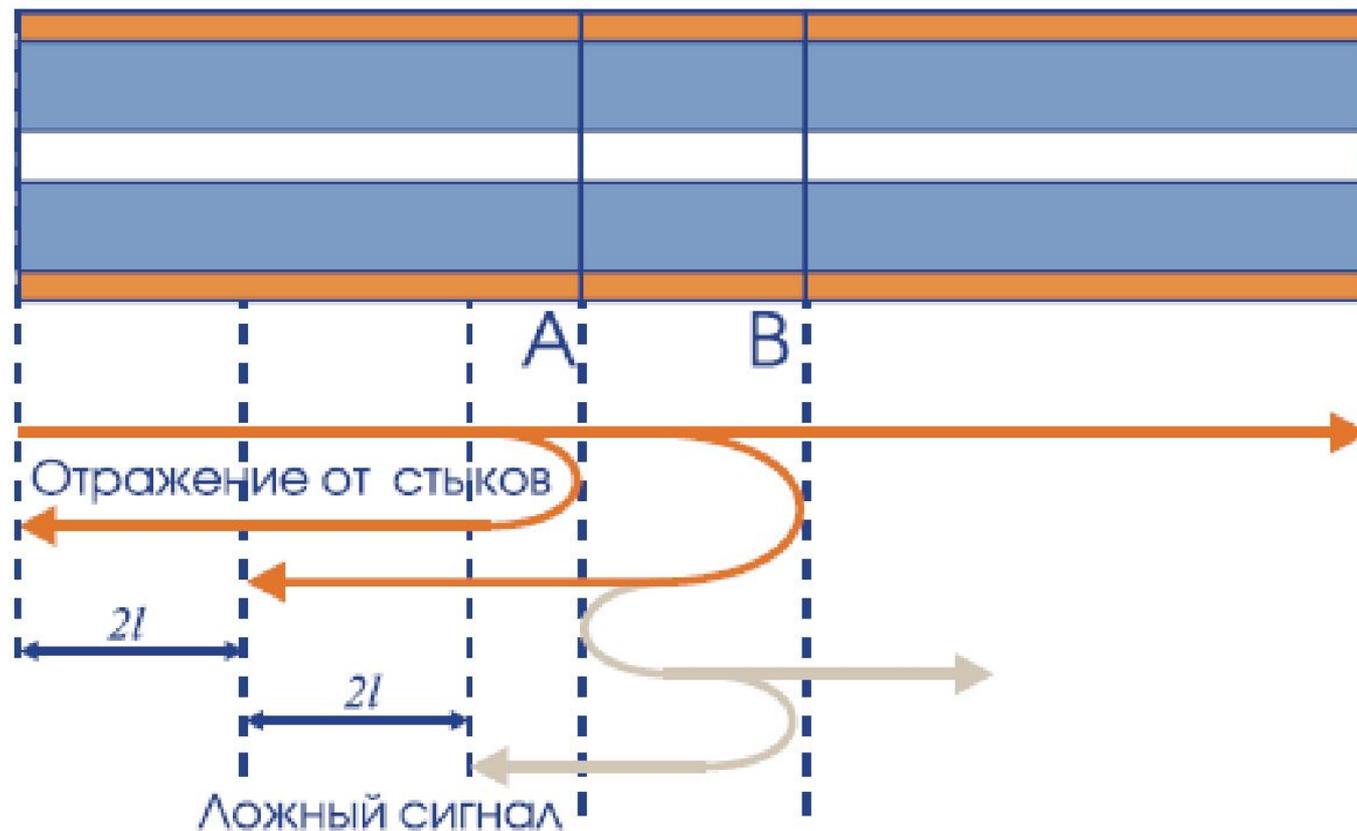
Ложные сигналы

- Оптоволоконные стыки показывающие усиление
- Отраженные паразитные сигналы

Оптоволоконные стыки показывающие усиление



Отраженные паразитные сигналы



Измерительное оборудование

- Оптический мини-рефлектометр YOKOGAWA (ANDO) AQ 7260



Особенности конструкции

- Большой и удобный для просмотра под любым углом экран
- Увеличенная точность измерения расстояний и высокое разрешение считывания (до 1 см)
- Динамический диапазон до 42 дБ, диапазон измеряемых длин трасс до 640 км
- Режим стабилизированного источника излучения
- Увеличенный объем внутренней памяти и возможность подключения дополнительных сменных PCMCIA и USB устройств памяти
- Универсального интерфейс USB для подключения клавиатуры, внешней памяти, принтера и т.д.
- Дополнительный встраиваемый принтер позволяет быстро распечатать рефлектограмму
- Увеличенная скорость проведения измерений
- Возможность сохранения результатов измерения в формате, соответствующему стандарту Telcordia GR-196 (Bellcore)
- Li-Ion батарея, рассчитанная на непрерывную работу прибора в течение 6 ч, с временем подзарядки менее 5 ч
- Портативный дизайн: габариты около 299мм x 225мм x 62 мм, масса всего 3 кг
- Возможность работы при температурах от -10 до +50°C и относительной влажности до 95%

Технические характеристики

Дисплей		8,4-дюймовый ЖК цветной дисплей, разрешение 640x480 точек
Горизонтальная ось дисплея	Диапазон просмотра	100м, 250м, 500м, 1км, 2.5км, 5км, 10км, 20км, 40км, 25м, 50м, 80 км, 160 км, 240 км, 320/640км (в зависимости от длины волны)
	Сдвиг шкалы	От 0 до диапазона расстояний
	Разрешение считывания, см	1 (минимальное)
	Число точек в рефлектограмме	до 60 000
	Диапазон группового показателя преломления Измерение расстояний	1,00000 - 1,99999 с шагом 0,00001 Расстояние между любыми двумя точками на рефлектограмме отображается в виде восьмизначного числа
Вертикальная ось дисплея	Масштаб по затуханию дБ/дел	0,2; 0,5; 1; 2; 5; 7.5
	Сдвиг шкалы, дБ	От 0 до 68
	Разрешение считывания, дБ	0,001 (минимальное)
	Измерение потерь	Уровень сигнала отображается в виде пятизначного числа Функции измерения потерь на участке волокна, погонного затухания, потерь на локальной неоднородности
	Измерение обратного отражения	Функции измерения коэффициента отражения от локальной неоднородности, полного коэффициента отражения на участке линии

Технические характеристики

Память	Внутренняя память	20 Мбайт
	PCMCIA	Результаты измерения и настройки могут быть сохранены на дополнительном устройстве памяти, подключаемом через интерфейс PCMCIA
Интерфейсы	USB	2 порта USB 1.0, предназначены для внешней памяти, клавиатуры и принтера
	FDD	Дополнительный встраиваемый дисковод 3,5"
Электропитание	Сетевой адаптер	100-240 В, 50/60 Гц, до 60 Вт (при использовании принтера во время заряда батареи)
	Батарея	Тип: Li-Ion. Продолжительность работы без подзарядки: около 6 часов (30 сек измерения каждые 3 минуты, оптический блок AQ7261 без доп. комплектации в режиме энергосбережения) Продолжительность зарядки: менее 5 часов
Условия хранения и эксплуатации	Температура эксплуатации	от -10 до +50°C (во время зарядки батареи: от +5°C до +35°C)
	Температура хранения Относительная влажность	от -20°C до +60°C Не более 95% (без конденсации)
Габариты и масса		Около 299мм x 225мм x 62 мм (Ш x В x Г), около 3 кг
Принадлежности		Батарея, ремень, сетевой адаптер, руководство по эксплуатации

Технические характеристики

Модель	AQ7261	AQ7264		AQ7265	NEW!!!AQ7265S1	AQ7269	
Тип волокна	SM 10/125 (ITU-T G.652)	SM 10/125 (ITU-T G.652)		SM 10/125	SM 10/125	SM 10/125 (ITU-T G.652)	MM 50/125 MM 62.5/125
Длина волны, нм	1310±25 1550±25	1310±20 1550±20		1310±20 1550±20	1310±20 1550±20 1625±20	1310±25 1550±25	850±30 1300±30
Диапазон расстояний, км	2, 5, 10, 20, 40, 80, 160, 240, 320, 640, 240, 320				2, 5, 10, 20, 40, 80, 160,	2, 5, 10, 40, 80, 160, 240	1, 2, 5, 10, 20, 40, 80
Длительность импульса, нс	10, 20, 50, 100, 200, 500, 1000, 4000, 10000, 20000, 50000				10, 20, 50, 100, 200, 500, 1000, 4000, 10000, 20000	10, 20, 50, 100, 200, 200, 500, 1000, 4000, 10000, 20000	10, 20, 50, 100, 500, 1000
Разрешение выборки, м				Мин 0.05			
Число точек в выборке				До 60 тыс			
Погрешность измерения длины трассы, м				2x10-5x(длина трассы)			
Погрешность измерения потерь (нелинейность), дБ/дБ				±0.05			
Мертвая зона,	По событию (по отраж)			2			2
	По потерям			15 для 1310 нм 20 для 1550 нм	7 для 1310 нм 8 для 1550 нм	7 для 1310 нм 8 для 1550 нм 11 для 1625 нм	7 для 1310 нм 8 для 1550 нм 10 для 1300 нм
Динамический диапазон (С/Ш=1), дБ	34 для 1310 нм 38 для 1550 нм			43 для 1310 нм 39.5 для 1550 нм	41.5 для 1310 нм 32 для 1550 нм 37 для 1625 нм	34 для 1310 нм 24 для 1300 нм	22.5 для 850 нм
Режим стабилизированного излучения	Длина волны, нм			1310/1550			
	Макс вых. мощность, дБм			-3±2			
Оптический разъем	Стабильность, дБ			±0.1			
				Оптический адаптер AQ9441 FC (опи)			
Условия хранения и эксплуатации	Рабочие температуры, °С			-10...+50			
	Температура хранения, °С			-20...+60			
	Относительная влажность, %			95 и меньше, без конденсации			

Спасибо за внимание!