

**Учебный курс  
«ИНФОРМАЦИОННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ  
ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКИХ ТЕХНОЛОГИЙ»**

**Тема :**

**Волоконно-оптические (технические)  
каналы утечки информации**

**Модуль 1:**

**Перехват трафика в волоконно-оптических  
коммуникациях**

**Лектор:**

**кфмн, доцент Гришачев Владимир Васильевич**

# Программа 1 модуля курса

## ЛЕКЦИИ

- I. Сценарии перехват трафика и их анализ
- II. Способы и техника перехвата трафика
- III. Методы защиты трафика
- IV. Коллоквиум

# Лекция 5-6

## «Способы и техника перехвата трафика»

1. Общая характеристика методов формирования сигнала утечки
2. Контактный НСИ с разрывом оптического волокна;
3. Контактный НСИ без разрыва оптического волокна;
4. Технические решения по дистанционному НСИ;
5. Методы повышения эффективности ТКУИ по перехвату;
6. Маскирующие и демаскирующие эффекты при формированиях ТКУИ;
7. Возможная структура ТКУИ по перехвату.

## 1. Общая характеристика методов формирования сигнала утечки

### ○ Доступ к информационному сигналу

---

- формирование информативного сигнала на основе штатного информационного сигнала составляет основу перехвата трафика.
- получение доступа к штатному информационному сигналу в оптическом волокне и кабеле является наиболее сложным этапом сценария перехвата.
- способы формирования информативного сигнала разделяются на
  - ✓ контактные методы
  - ✓ дистанционные методы

# 1. Общая характеристика методов формирования сигнала утечки

## ○ Доступ к информационному сигналу

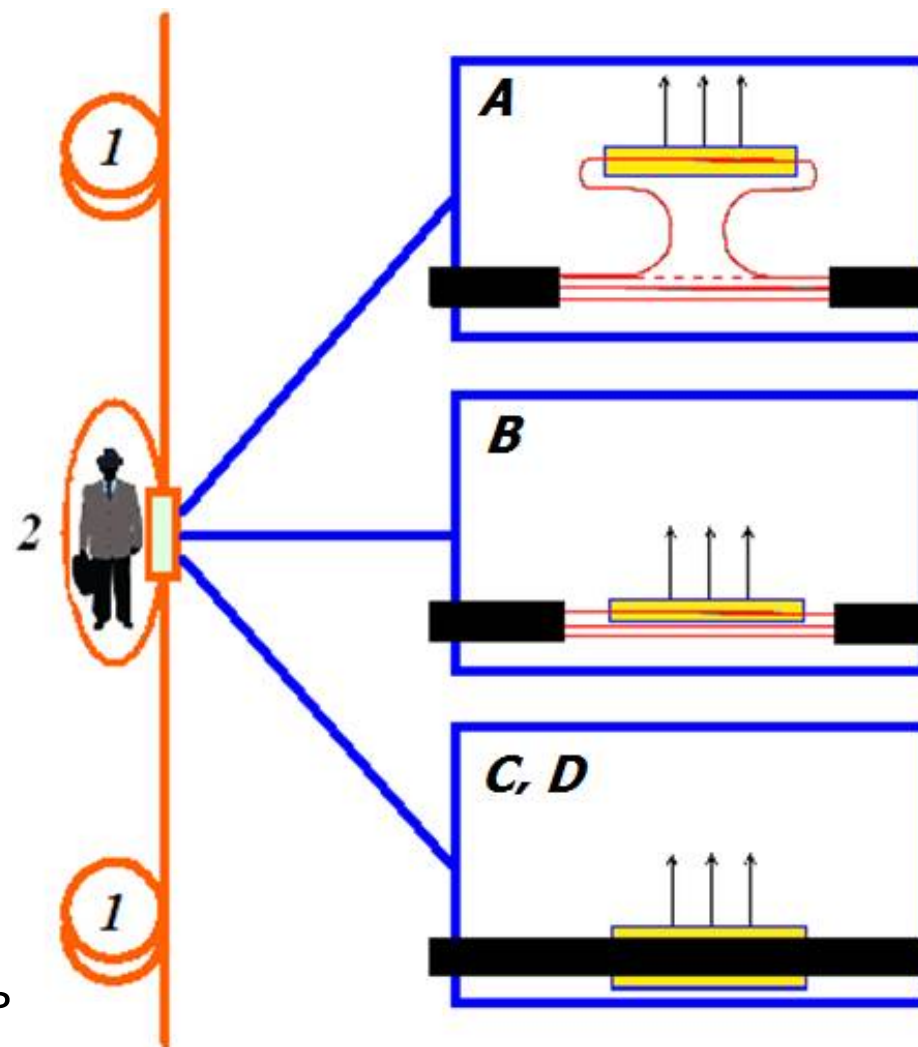
### □ **КОНТАКТНЫЕ МЕТОДЫ:**

- **A** – контактный перехват с разрывом оптоволокна и вставкой;
- **B** – контактный перехват с прямым доступом к волокну;

### □ **ДИСТАНЦИОННЫЕ МЕТОДЫ:**

- **C** – дистанционный перехват с регистрацией побочных и сопутствующих излучений;
- **D** – дистанционный перехват на основе параметрических методов;

1 – оптический кабель, 2 – нарушитель



## 1. Общая характеристика методов формирования сигнала утечки

### ○ Доступ к информационному сигналу

---

#### ***КОНТАКТНЫЕ МЕТОДЫ:***

- ❖ перехват с разрывом оптоволокна и вставкой – используется возможность прямого включения в оптическую систему оптоволоконной вставки с прямым отводом части штатного информационного сигнала в канал утечки;
- ❖ перехват с прямым доступом к волокну без его разрыва – используется возможность отвода части информационного сигнала в канал утечки из неразрывного оптического волокна с помощью физических воздействий на оптоволокно;

## 1. Общая характеристика методов формирования сигнала утечки

### ○ Доступ к информационному сигналу

---

#### ***ДИСТАНЦИОННЫЕ МЕТОДЫ:***

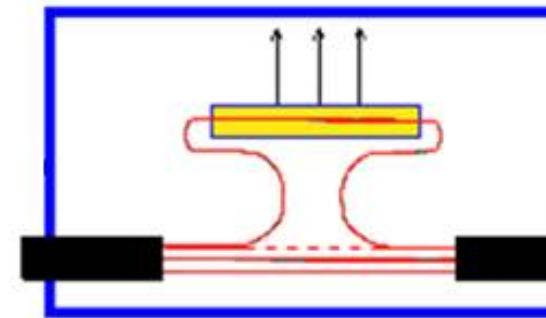
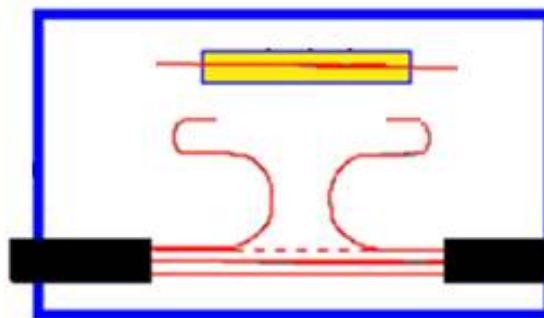
- ❖ перехват с регистрацией побочных и сопутствующих излучений – используются излучения, возникающие при прохождении штатного информационного сигнала по оптическому волокну.
- ❖ перехват на основе параметрических методов – используется модуляция штатным информационным сигналом параметров оптического волокна или других сред вблизи волокна, которые выступают в качестве информативных сигналов;

## 2. Контактный НСИ с разрывом оптического волокна

### ○ Доступ к информационному сигналу при контактном НСИ с разрывом

❖ перехват трафика наиболее эффективен при контактном НСИ через оптоволоконную вставку в разрыв оптического волокна сети, он реализуется по сценарию на данном этапе

- изготовление оптоволоконной вставки;
- получение доступа к оптическому кабелю;
- нарушение защитных оболочек кабеля;
- получение доступа к оптоволокну;
- разрыв оптического волокна;
- включение в разрыв оптоволоконной вставки;

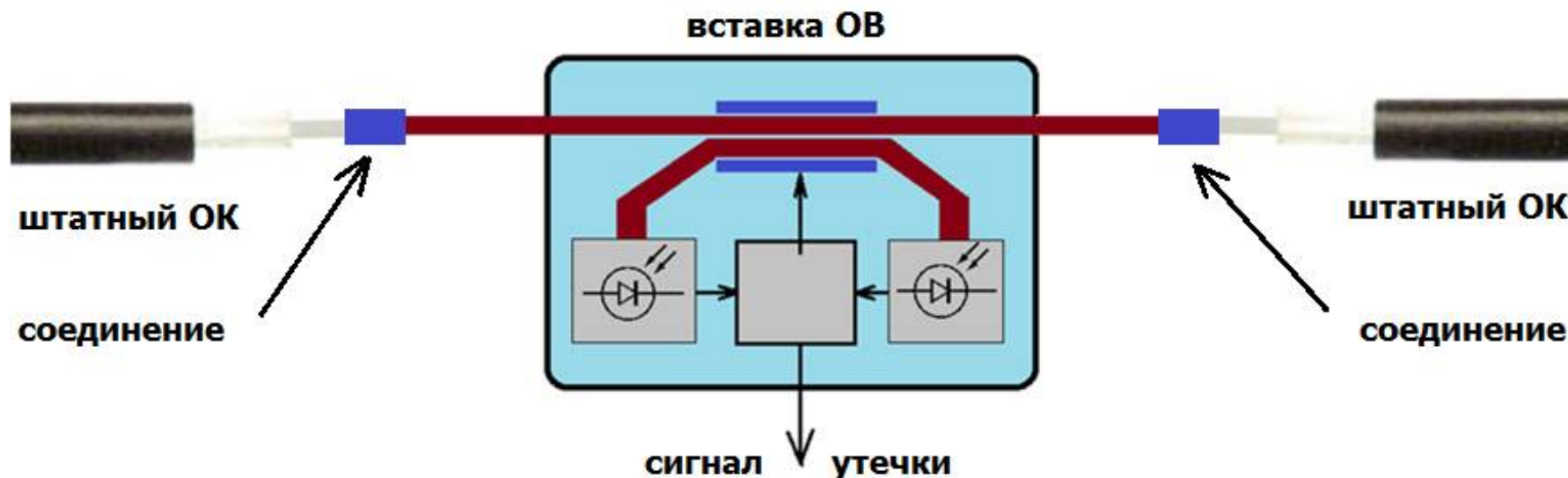




## 2. Контактный НСИ с разрывом оптического волокна

### ○ Доступ к информационному сигналу при контактном НСИ с разрывом

- ❖ оптоволоконная вставка – устройство отвода оптического излучения из оптоволоконна с минимальными возвратными и прямыми потерями, включаемое в штатную оптическую линию путем его разрыва и замыкания оптического канала через вставку.



## 2. Контактный НСИ с разрывом оптического волокна

### ○ Доступ к информационному сигналу при контактном НСИ с разрывом

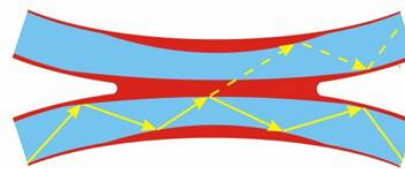
---

❖ оптоволоконная вставка (coupler, tap, splitter) – промышленно изготовленное пассивное волоконно-оптическое устройство по отводу из оптоволоконна части излучения:

оптические сплиттеры можно разделить на (по типу производства)

сварные FBT (Fused Biconic Taper)

возможность малого ответвления 1%



общие потери 0.15 дБ  
возвратные потери -50 дБ

планарные PLC (Planar Lightwave Circuit)



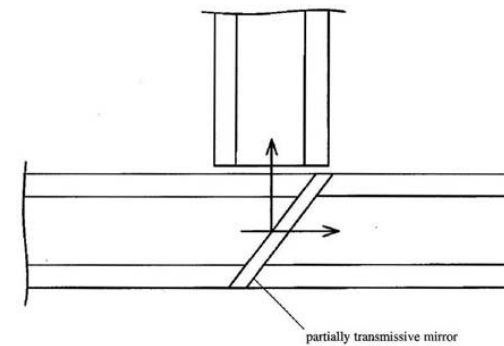
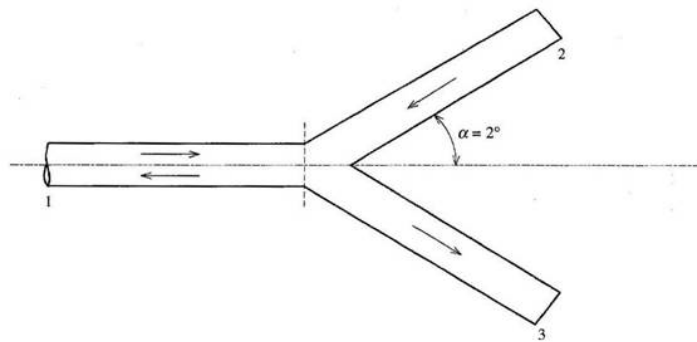
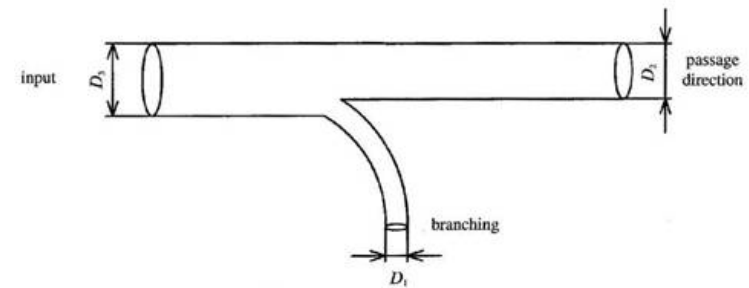
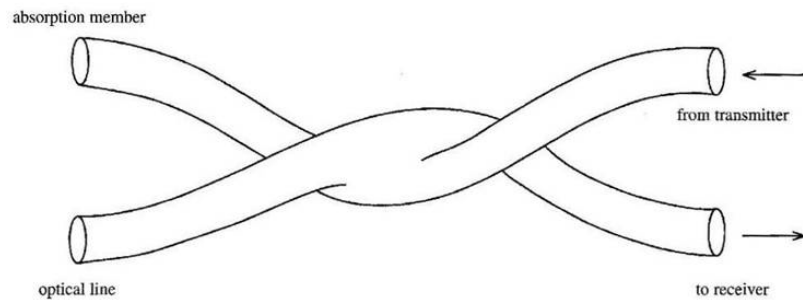
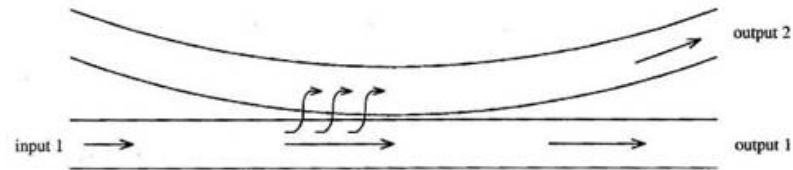
трудность малого ответвления

общие потери менее 0.1 дБ  
возвратные потери -55 дБ

## 2. Контактный НСИ с разрывом оптического волокна

### ○ Доступ к информационному сигналу при контактном НСИ с разрывом

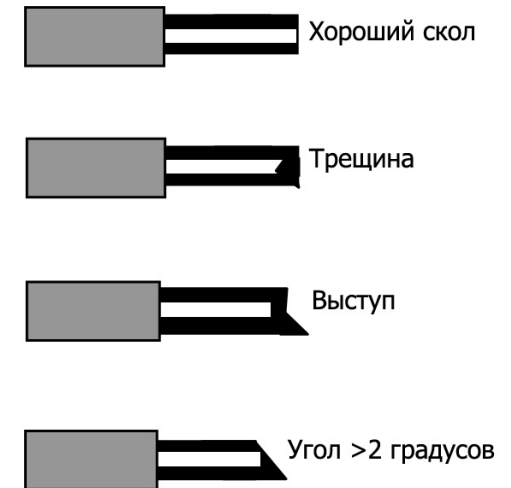
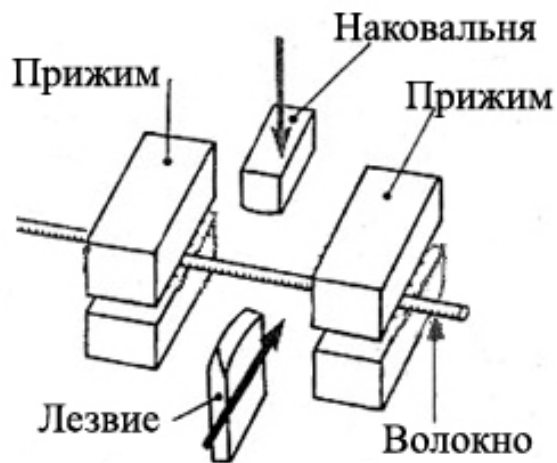
❖ оптоволоконная вставка (coupler, tap, splitter) – виды возможных ответвлений



## 2. Контактный НСИ с разрывом оптического волокна

### ○ Доступ к информационному сигналу при контактном НСИ с разрывом

#### ❖ разрыв оптического волокна скальвателем



назначение:

скальватор должен обеспечивать ровную торцевую поверхность оптоволокна, неровная поверхность вызывает рассеивание света и приводит к образованию щелей между стыкуемыми волокнами, из-за которых растут оптические возвратные потери.

технические характеристики:

скол стандартного кварцевого 125 мкм одиночного или ленточного волокон с диаметром защитного покрытия 250 мкм и 900 мкм, так и специальных волокон

## 2. Контактный НСИ с разрывом оптического волокна

### ○ Доступ к информационному сигналу при контактном НСИ с разрывом

---

#### ❖ подготовка торцов оптоволокна после скалывания к соединению

перед соединением поверхности торцов обрабатывают, они должны быть гладкими и плоскими, перпендикулярными к оси оптоволокна;

стыки волокон должны быть обработаны так, чтобы не было каких-либо дефектов в них и между соединяемыми волокнами;

с помощью рефлектометра или микроскопа контролируют стыки после соединения;

возможно применение специальных муфт для защиты мест соединения.

## 2. Контактный НСИ с разрывом оптического волокна

### ○ Доступ к информационному сигналу при контактном НСИ с разрывом

---

❖ соединения оптических волокон бывают разъемные и неразъемные

□ неразъемные соединения получают посредством

✓ сварной технологии,

✓ склеиванием,

✓ с помощью механических гелевых соединителей

как правило,

используются внешним нарушителем для присоединения к оптическому каналу, не имеющем разъемных соединений в телекоммуникациях

□ реализация разъемных соединений происходит при помощи коннекторов

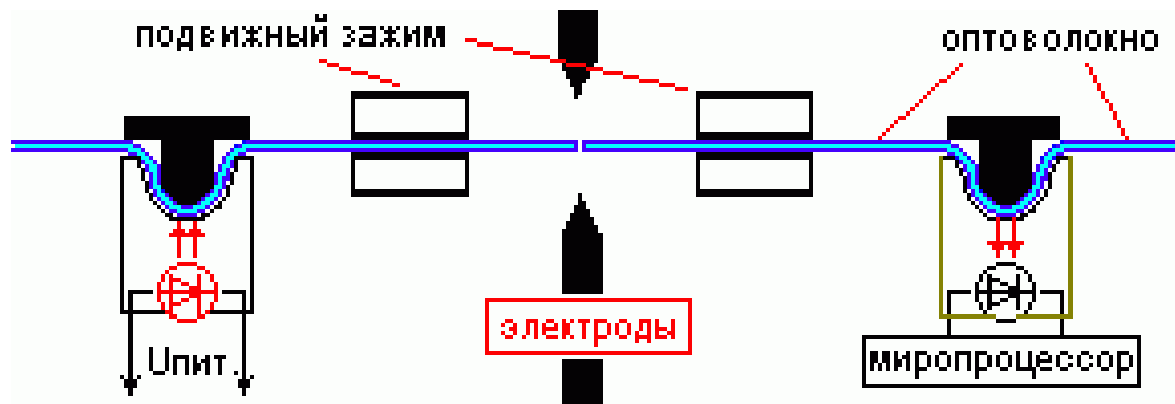
как правило,

используется внутренним нарушителем для присоединения к оптическому каналу, через штатные разъемные соединения в локальной сети

## 2. Контактный НСИ с разрывом оптического волокна

### ○ Доступ к информационному сигналу при контактном НСИ с разрывом

- ❖ внешний нарушитель, неразъемное соединение двух оптических волокон
- сварка волокон



технология неразъемного соединения волокон посредством, путем механической торцевой стыковки волокон и их последующим сплавлением в электрической дуге.

## 2. Контактный НСИ с разрывом оптического волокна

### ○ Доступ к информационному сигналу при контактном НСИ с разрывом

- ❖ внешний нарушитель, неразъемное соединение двух оптических волокон
- неразъемное механическое соединение



V-образный желоб

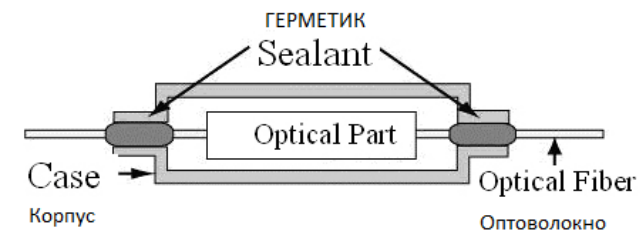


Капиллярная трубка

Зажим FIBRLOK



- обеспечение оптического контакта с помощью клея, смазки или геля





## 2. Контактный НСИ с разрывом оптического волокна

### ○ Доступ к информационному сигналу при контактном НСИ с разрывом

- ❖ характеристика неразрывных соединений двух оптических волокон при замыкании оптического канала через оптоволоконную вставку



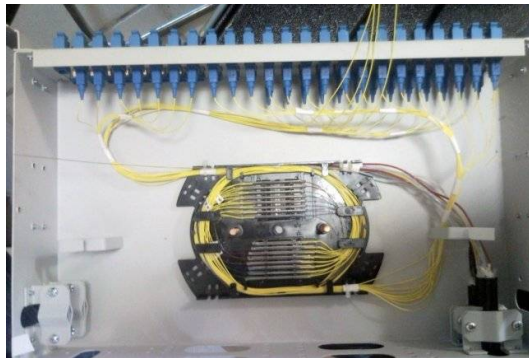
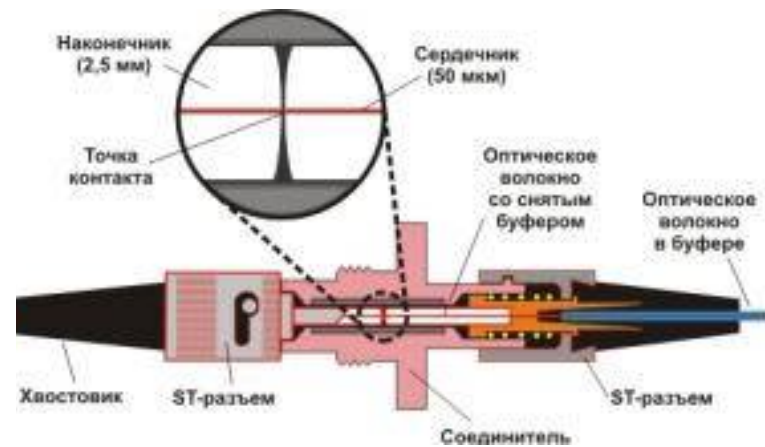
Технологии соединения волокон	время операции*	типичные потери	
		прямые	обратные
i. Сварное соединение	около 60 сек	от 0.02 до 0.15 дБ	-60 дБ
ii. Клеевое соединение	около 30 сек	от 0.1 до 0.3 дБ	-50 дБ
iii. Механическое соединение	около 30 сек	от 0.1 до 0.3 дБ	-50 дБ

\*время операции без учета времени подготовки волокон

## 2. Контактный НСИ с разрывом оптического волокна

### ○ Доступ к информационному сигналу при контактном НСИ с разрывом

❖ внутренний нарушитель, подключение через штатное разъемное соединение оптического кабеля локальной сети

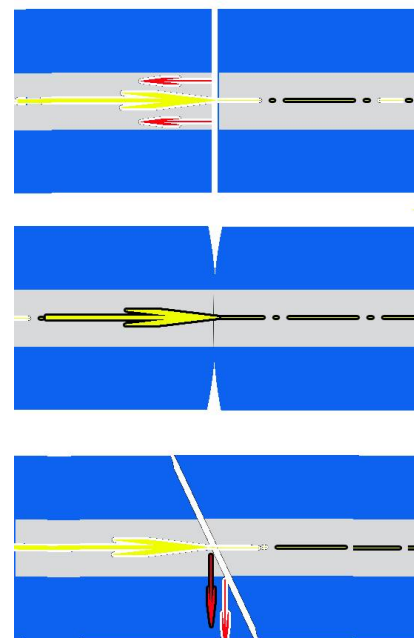


## 2. Контактный НСИ с разрывом оптического волокна

- Доступ к информационному сигналу при контактном НСИ с разрывом

штатное разъемное соединение оптического кабеля

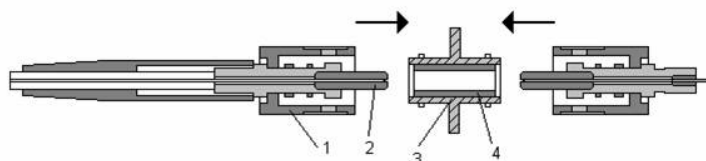
Тип полировки	Вносимое затухание, дБ	Обратное отражение, дБ
PC (physical contact)	0,2	-25...-30
SPC (super physical contact)	0,2	-35...-40
UPC (ultra physical contact)	0,2	-45...-50
APC (angle physical contact)	0,3	-60...-70



*SuperPC*

*UltraPC*

*AngledPC*



Разъем SC(UPC)



Разъем SC(APC)



Разъем LC



Разъем FC(UPC)



Разъем FC(APC)

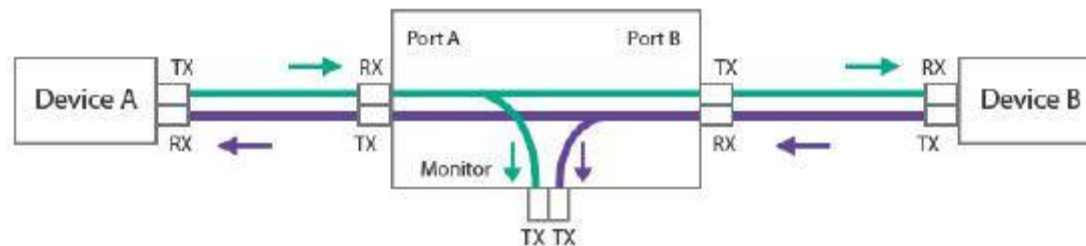
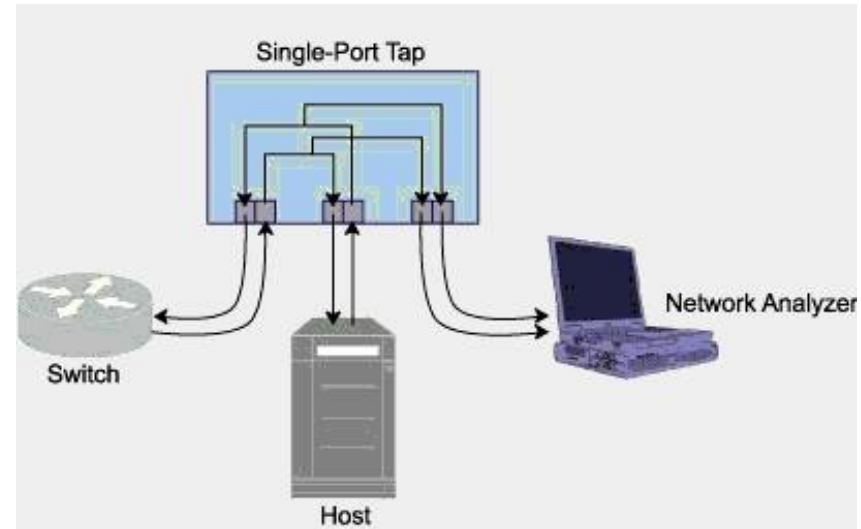


Разъем ST

## 2. Контактный НСИ с разрывом оптического волокна

### ○ Доступ к информационному сигналу при контактном НСИ с разрывом

- ❖ перехватчик трафика волоконный - оптоволоконная вставка (сплиттер) – TAP сплиттер для мониторинга оптической сети Fiber Channel Traffic Access Point (TAP)



TAP получает информацию о трафике, но передавать не может

## 2. Контактный НСИ с разрывом оптического волокна

- **Доступ к информационному сигналу при контактном НСИ с разрывом**
- 

### Выводы

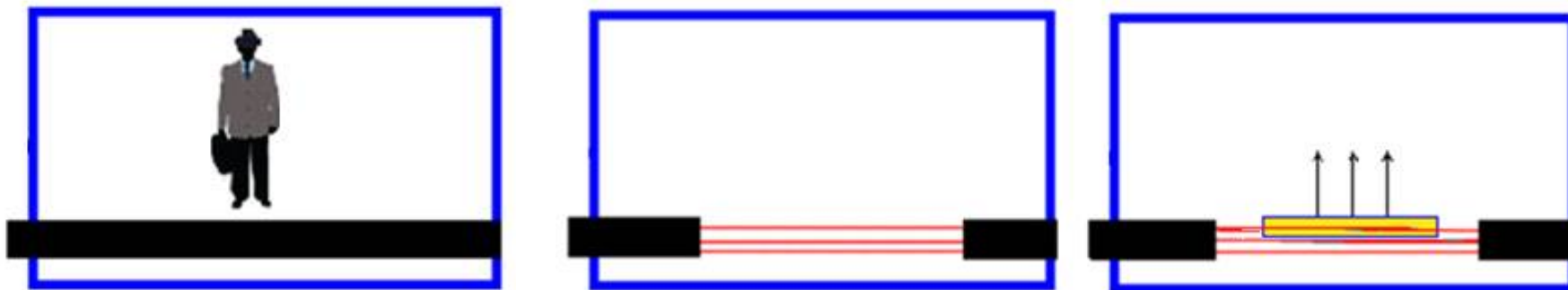
- ❖ техника монтажа оптических кабельных систем позволяет произвести создание высокоэффективной оптоволоконной вставки путем
  - разрыва волокна скалывателем с качеством достаточным для сварки
  - разъемным или неразъемным соединением волокон с высокой эффективностью по потерям
  - прием и обработку оптического сигнала любой сложности

### 3. Контактный НСИ без разрыва оптического волокна

#### ○ Доступ к информационному сигналу при контактном НСИ без разрыва

---

- ❖ перехват трафика возможен при контактном НСИ без разрыва оптического волокна сети, он реализуется по сценарию на данном этапе
- получение доступа к оптическому кабелю;
- нарушение защитных оболочек кабеля;
- получение доступа к оптоволокну;
- формирование информативного сигнала;
- регистрация параметров информативного сигнала;



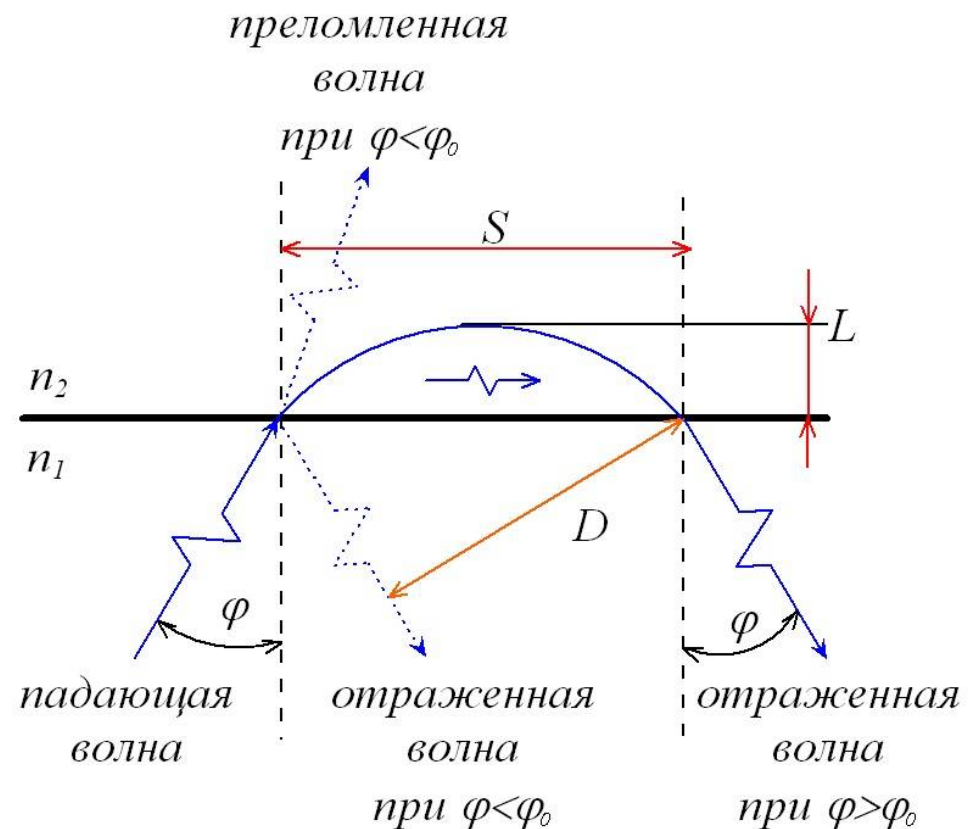
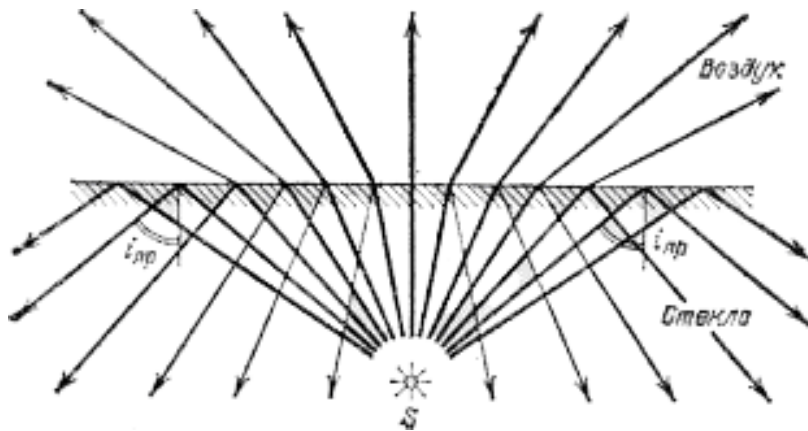
### 3. Контактный НСИ без разрыва оптического волокна

#### ○ Доступ к информационному сигналу при контактном НСИ без разрыва

- ❖ формирование информативного сигнала путем нарушения полного внутреннего отражения

#### ЯВЛЕНИЕ ПОЛНОГО ВНУТРЕННЕГО ОТРАЖЕНИЯ

состоит в полном отражении света от границы раздела оптических сред с показателями преломления  $n_1 > n_2$  при превышении критического угла падения  $\varphi_0 = \arcsin(n_2/n_1)$ ;



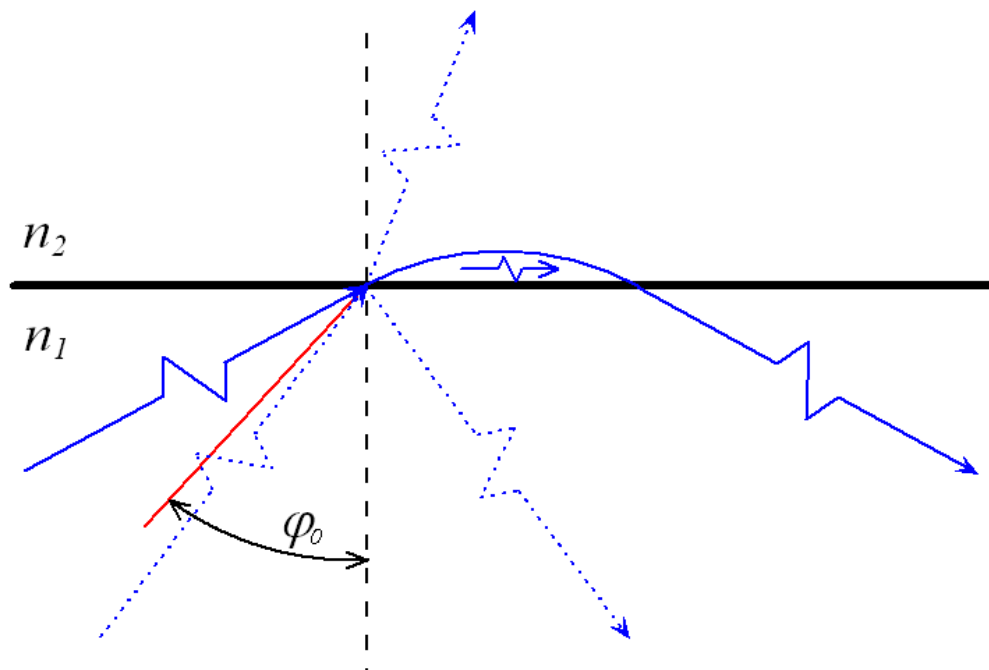
### 3. Контактный НСИ без разрыва оптического волокна

#### ○ Доступ к информационному сигналу при контактном НСИ без разрыва

- ❖ формирование информативного сигнала на основе информационного сигнала путем нарушения полного внутреннего отражения (отвод света) - использование внешнего воздействия для уменьшения угла падения до величины меньшей значения  $\varphi_0$  - угла полного внутреннего отражения

#### *Способы изменения угла падения*

- механическое воздействие
  - ✓ изгиб оптоволокна
  - ✓ кручение оптоволокна
  - ✓ растяжение оптоволокна
- воздействие физического поля
  - ✓ акустического
  - ✓ электромагнитного

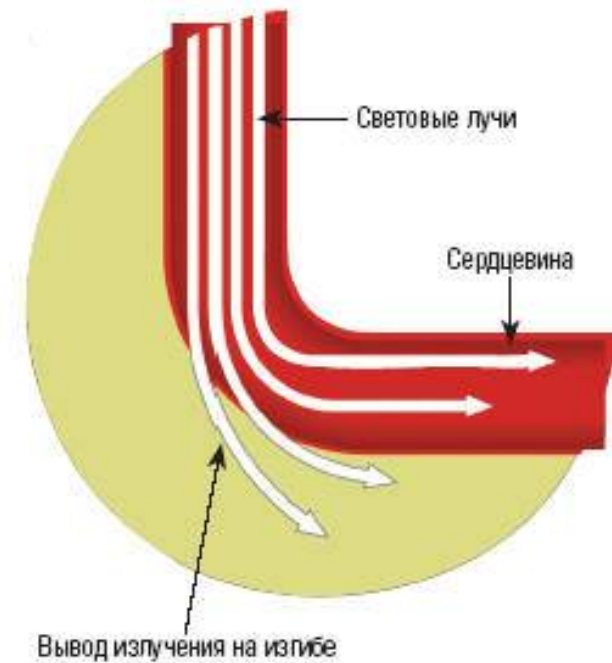
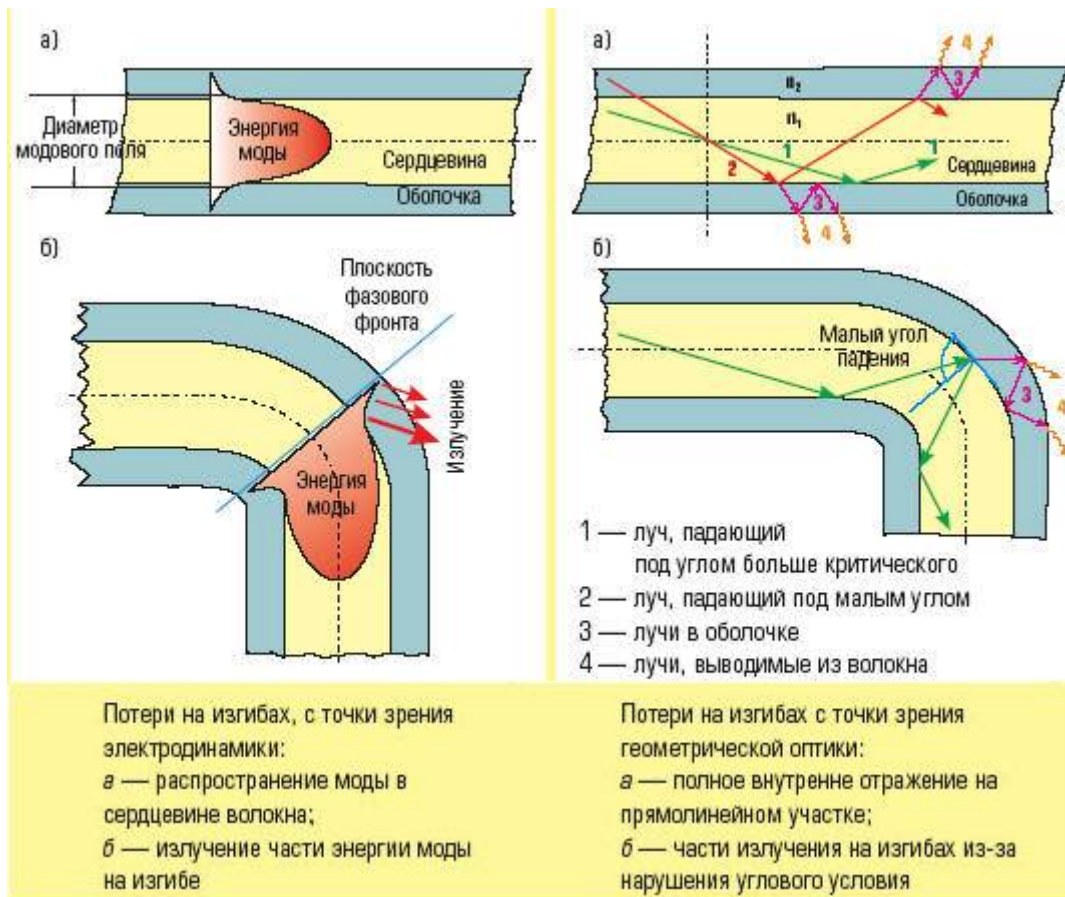




### 3. Контактный НСИ без разрыва оптического волокна

#### ○ Доступ к информационному сигналу при контактном НСИ без разрыва

❖ формирование информативного сигнала на основе информационного сигнала путем изгиба оптоволокна



отвод света на изгибе волокна

### 3. Контактный НСИ без разрыва оптического волокна

#### ○ Доступ к информационному сигналу при контактном НСИ без разрыва

- ❖ формирование информативного сигнала на основе информационного сигнала путем изгиба оптоволокна

Формула Маркузе

$$\alpha = A \frac{\exp(-B \cdot R)}{\sqrt{R}}$$

для определения потерь  $\alpha$  при макроизгибе SM волокна менее критического радиуса  $R_{\min}$ ;

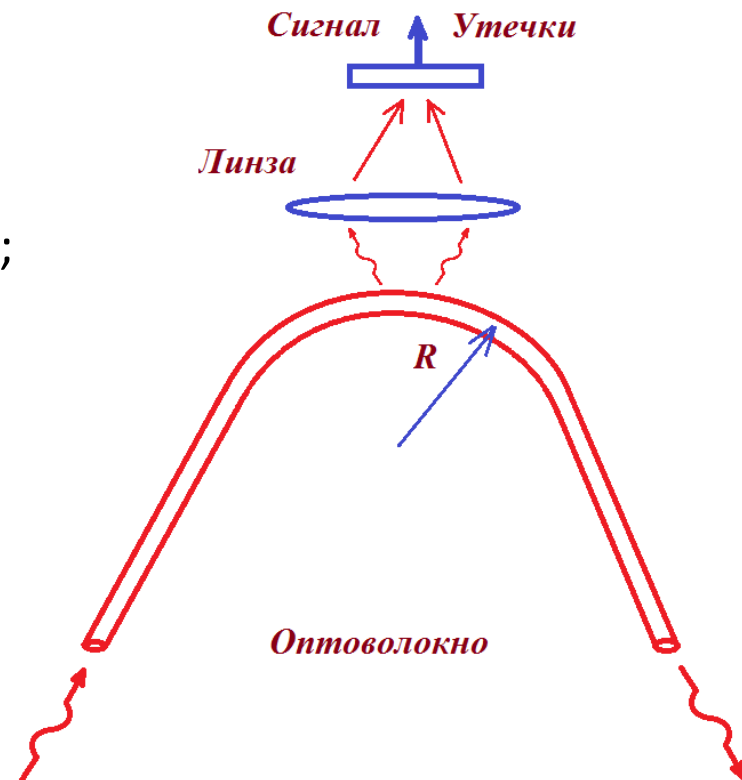
A, B – коэффициенты зависящие от длины волны, поляризации, моды;

для микроизгибов SM волокна

$r_c$  - радиус сердцевины

$$\alpha \sim \frac{r_c^4}{D^6}$$

D - диаметр оболочки



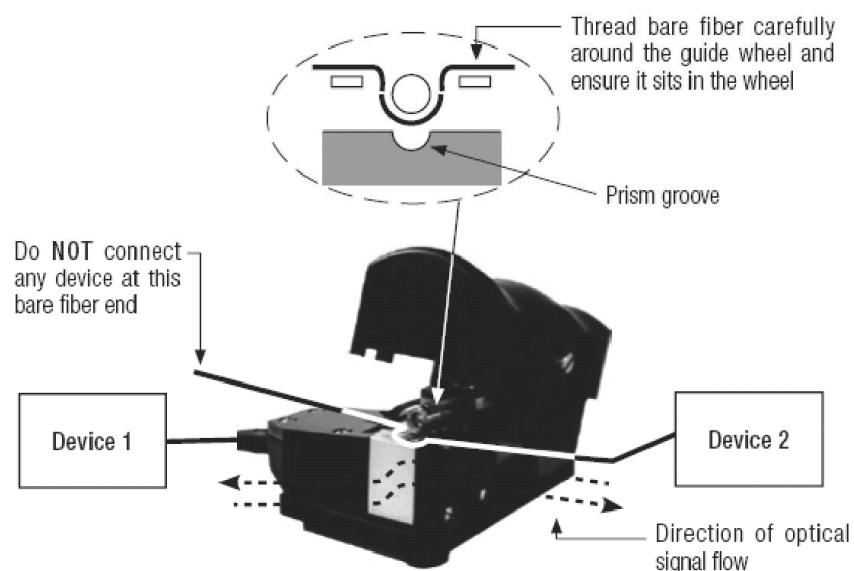
### 3. Контактный НСИ без разрыва оптического волокна

#### ○ Доступ к информационному сигналу при контактном НСИ без разрыва

❖ формирование информативного сигнала на основе информационного сигнала путем изгиба оптоволокна **Fiber Connection Method:**

#### **ответвитель-прищепка FOD-5503**

обеспечивает двунаправленное подключение к одномодовому волокну в 250-микронном покрытии без повреждения волокна.



Сквозные потери менее  
Обратное отражение  
Потери канала утечки  
Условия эксплуатации

7 дБ  
мене -60 дБ  
менее 20 дБ

температура  $-10 \div +40$  °C  
влажность 75%

### 3. Контактный НСИ без разрыва оптического волокна

#### ○ Доступ к информационному сигналу при контактном НСИ без разрыва

❖ формирование информативного сигнала на основе информационного сигнала путем изгиба оптоволокна

устройство ввода/вывода оптического сигнала на изгибе волокна Photom 550 предназначено для подключения в линию без разрыва волокна, а также к неоконцованному волокну.

#### *Технические характеристики*

Длина волны	1310/1550 нм
Волокно	одномодовое, покрытие 250 мкм
Вносимые потери	≤ 8 дБ
Возвратные потери	≤ 40 дБ
Коэффициент передачи от	-17 до -23 дБ
Длина шлейфа	105 км (при использовании Photom 450XL) 80 км (при использовании Photom 450) 55 км (при использовании Photom 430) при использовании вместе с Photom 450 волоконно-оптическим телефоном



### 3. Контактный НСИ без разрыва оптического волокна

- **Доступ к информационному сигналу при контактном НСИ без разрыва**

---

- ❖ формирование информативного сигнала на основе информационного сигнала путем изгиба оптоволокна



Перехватчик трафика волоконный (TAP) на основе макроизгиба волокна

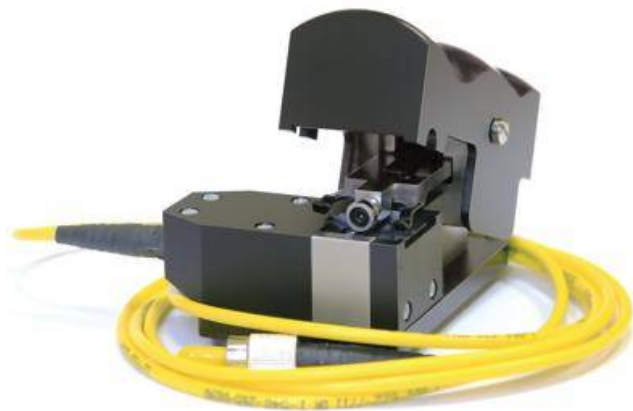
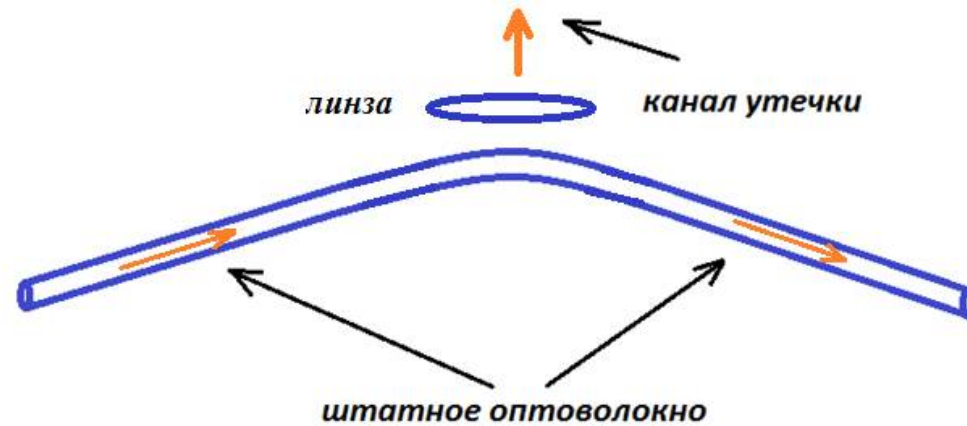


Идентификатор активного волокна со встроенным тоновым генератором LFD-300/TG-300 FiberFinder. Включает в себя 3 тестовых прибора в одном корпусе: идентификатор активного волокна, детектор активного волокна, идентификатор тёмного волокна

### 3. Контактный НСИ без разрыва оптического волокна

- **Доступ к информационному сигналу при контактном НСИ без разрыва**

- ❖ формирование канала утечки путем отвода оптического излучения из штатного волокна в специальное волокно на макроизгибе

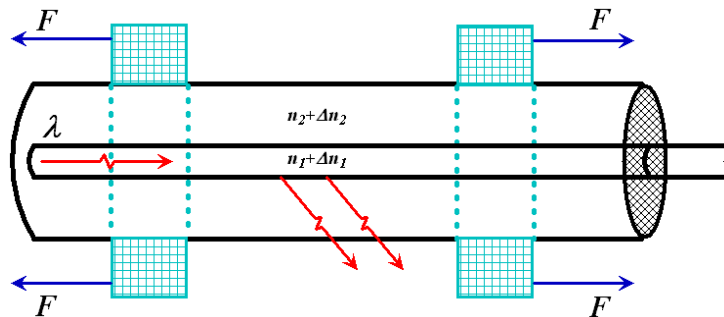


### 3. Контактный НСИ без разрыва оптического волокна

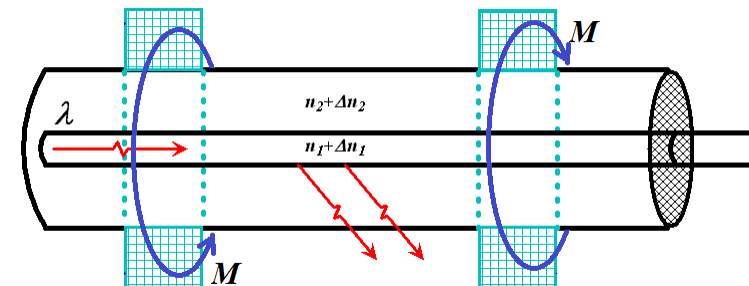
#### ○ Доступ к информационному сигналу при контактном НСИ без разрыва

- ❖ формирование информативного сигнала на основе информационного сигнала путем механического воздействия на волокно

растяжение кабеля и волокна



скручивание кабеля и волокна



изменение угла полного внутреннего отражения

$$\Delta\varphi_0 = \arcsin\left(\frac{n_2 + \Delta n_2}{n_1 + \Delta n_1}\right) - \arcsin\left(\frac{n_2}{n_1}\right)$$

$$\frac{\Delta n}{n} = -\frac{1}{2}n^2 p \varepsilon$$

вызывается различием в эффекте фотоупругости оболочки и сердцевины

где  $p$ ,  $\varepsilon$  – эффективные составляющие тензоров фотоупругости и деформации

### 3. Контактный НСИ без разрыва оптического волокна

#### ○ Доступ к информационному сигналу при контактном НСИ без разрыва

- ❖ формирование информативного сигнала на основе информационного сигнала путем нарушения полного внутреннего отражения при воздействии акустического поля

акустическая волна формирует дифракционную решетку из показателя преломления в сердцевине волокна – в результате акустооптического взаимодействия свет отклоняется и выходит за пределы сердцевины

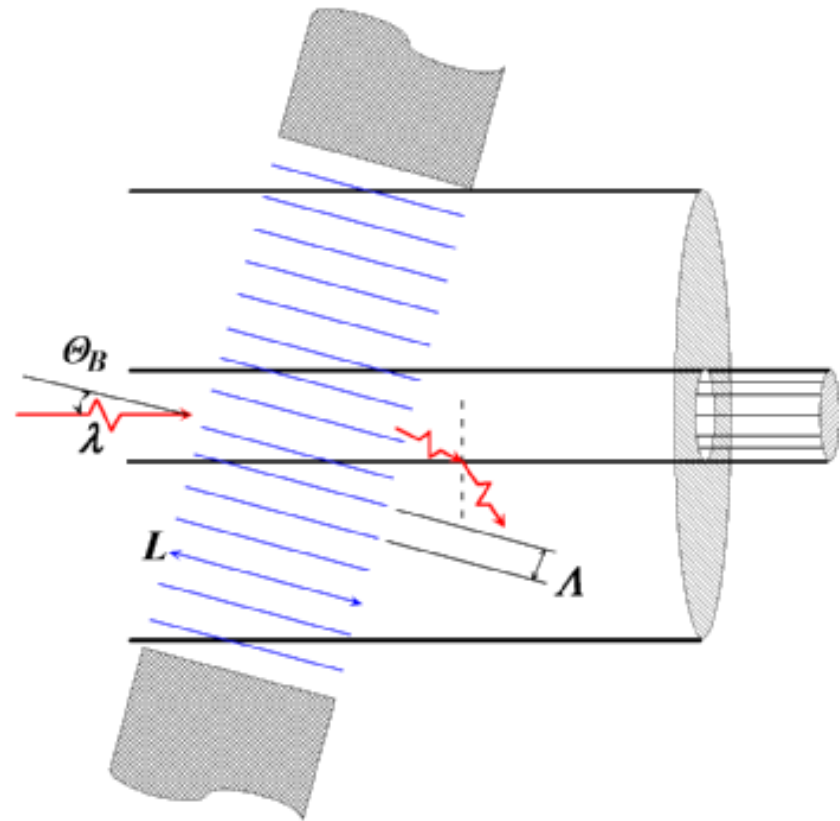
дифракция Брэгга на высокочастотном звуке (>10 МГц), длина волны  $\Lambda$  которого удовлетворяет условию:

$$\left(\lambda L / \Lambda^2\right) > 1,$$

где  $\lambda$  – длина волны электромагнитного излучения,  
 $L$  – ширина области распространения звуковой волны

условие Вульфа-Брэгга  
 $m$  – порядок дифракции

$$2\Lambda \sin \theta = m\lambda$$

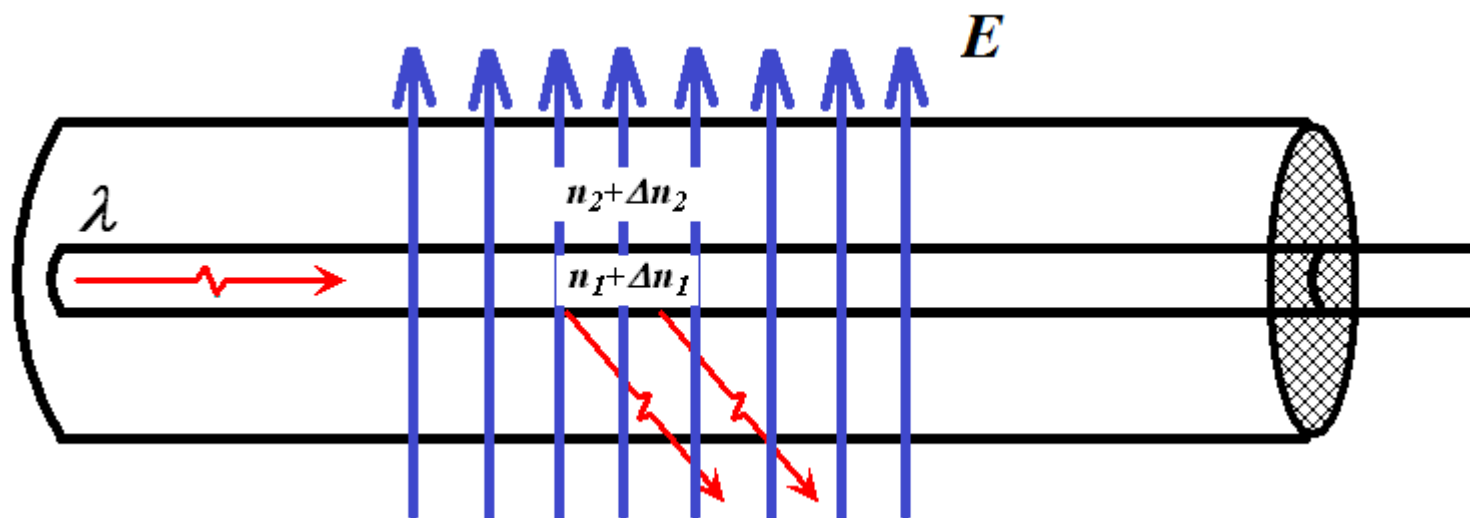




### 3. Контактный НСИ без разрыва оптического волокна

#### ○ Доступ к информационному сигналу при контактном НСИ без разрыва

- ❖ формирование информативного сигнала на основе информационного сигнала путем нарушения полного внутреннего отражения при воздействии электромагнитного поля



вследствие обратного пьезоэлектрического эффекта и явления фотоупругости  
где  $b$  – модуль пьезоэлектрического эффекта,  
 $E$  – напряженность электрического поля

$$\frac{\Delta n}{n} = -\frac{1}{2} n^2 p b E$$

### 3. Контактный НСИ без разрыва оптического волокна

- **Доступ к информационному сигналу при контактном НСИ без разрыва**

---

❖ формирование информативного сигнала на основе информационного сигнала путем нарушения полного внутреннего отражения при воздействии электромагнитного поля

эффективность отвода зависит от величины электромагнитного воздействия, от ориентации направления распространения и поляризации поля относительно волокна

электромагнитное воздействие вызывает анизотропию оптической среды волокна, поэтому информативный сигнал поляризован

### 3. Контактный НСИ без разрыва оптического волокна

#### ○ Доступ к информационному сигналу при контактном НСИ без разрыва

❖ формирование информативного сигнала на основе информационного сигнала путем оптического туннелирования

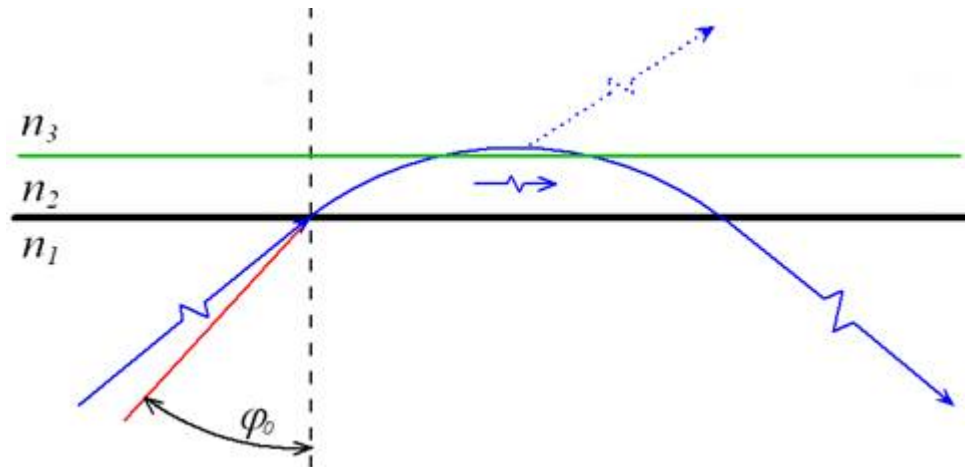
при угле падения света  $\varphi$  больше угла полного внутреннего отражения  $\varphi_0$  свет проникает внутрь отражающего слоя и на расстоянии  $r$  его интенсивность

$$I = I_0 \cdot \exp\left(-4\pi n_1 \left[\frac{r}{\lambda}\right] \sqrt{\sin^2 \varphi - \sin^2 \varphi_0}\right)$$

$I_0$  – интенсивность падающего света,

$\lambda$  – длина волны света

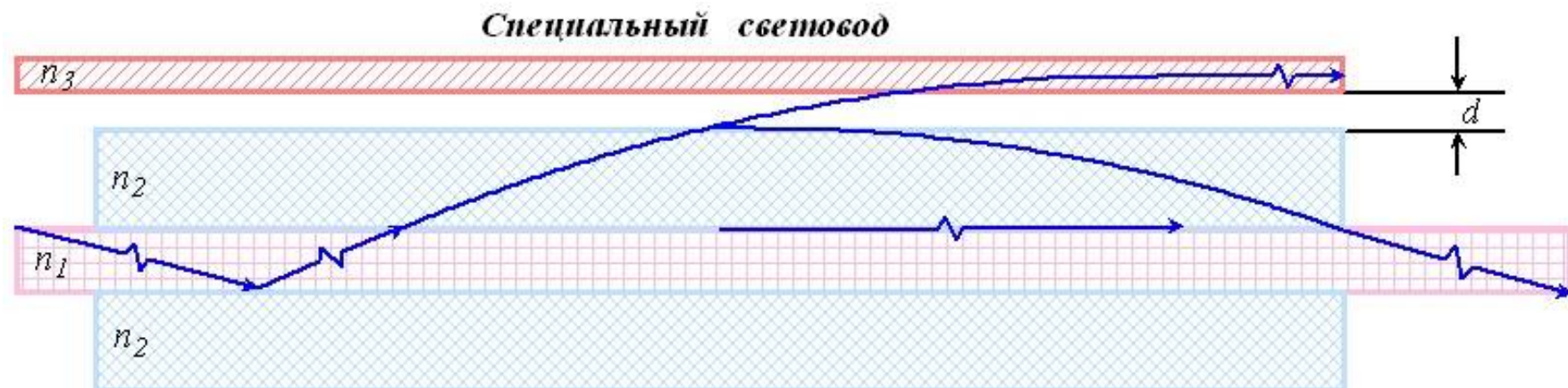
при расположении на близком расстоянии от границы отражения другого слоя с показателем преломления ( $n_3$ ) больше, чем у разделяющего слоя ( $n_2$ ), то получим захват части излучения вспомогательным слоем - туннелирование



### 3. Контактный НСИ без разрыва оптического волокна

#### ○ Доступ к информационному сигналу при контактном НСИ без разрыва

- ❖ формирование информативного сигнала на основе информационного сигнала путем оптического туннелирования, т.е. захвата части излучения, выходящего за пределы сердцевины основного световода, вспомогательным световодом канала утечки



ИНТЕНСИВНОСТЬ СВЕТА ВЫВОДИМАЯ ВО ВСПОМОГАТЕЛЬНЫЙ СВЕТОВОД КАНАЛА УТЕЧКИ

$K$  - коэффициент связи оптических волокон

$L$  - длина оптического контакта двух волокон

$\alpha$  - потери в волокне

$$I = I_0 \cdot \sin^2 \left( K \cdot L \cdot e^{-\alpha L} \right) \approx I_0 \cdot \sin^2 (K \cdot L)$$

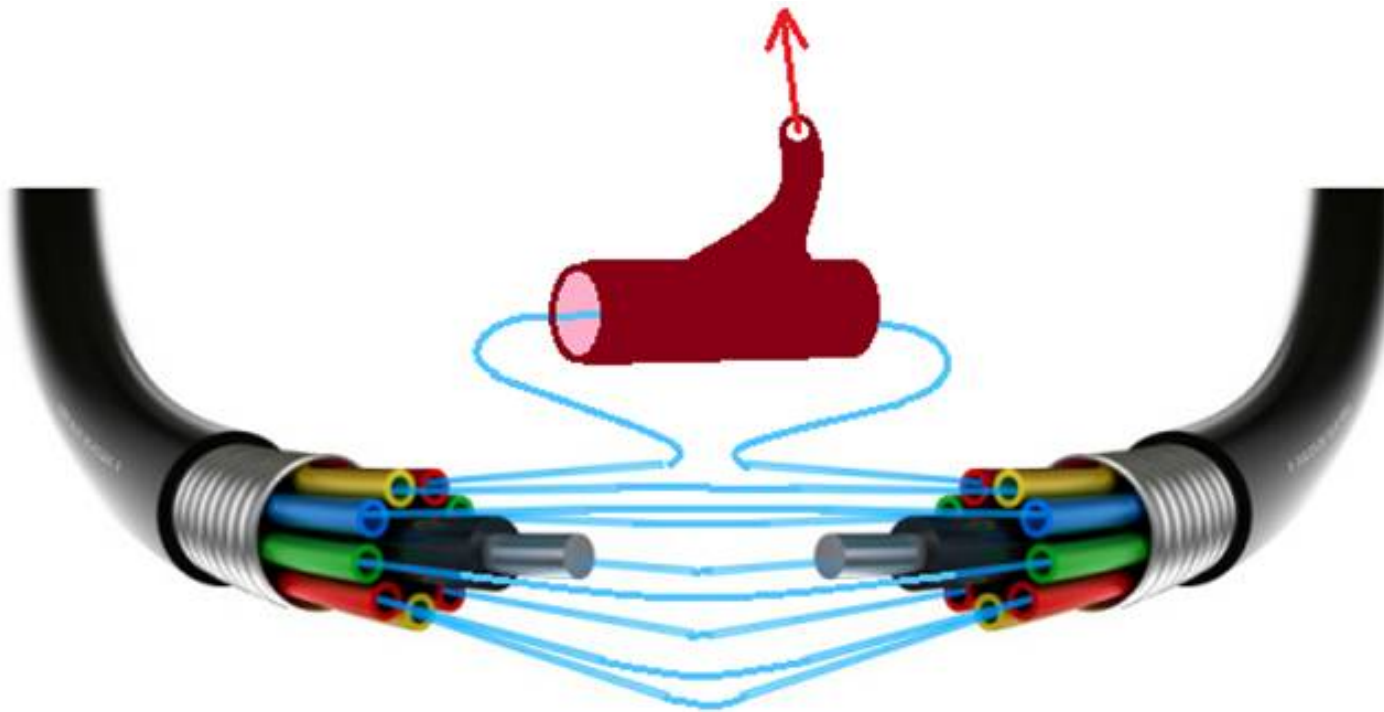
при фазовом согласовании основной и утекающей мод

### 3. Контактный НСИ без разрыва оптического волокна

- **Доступ к информационному сигналу при контактном НСИ без разрыва**

---

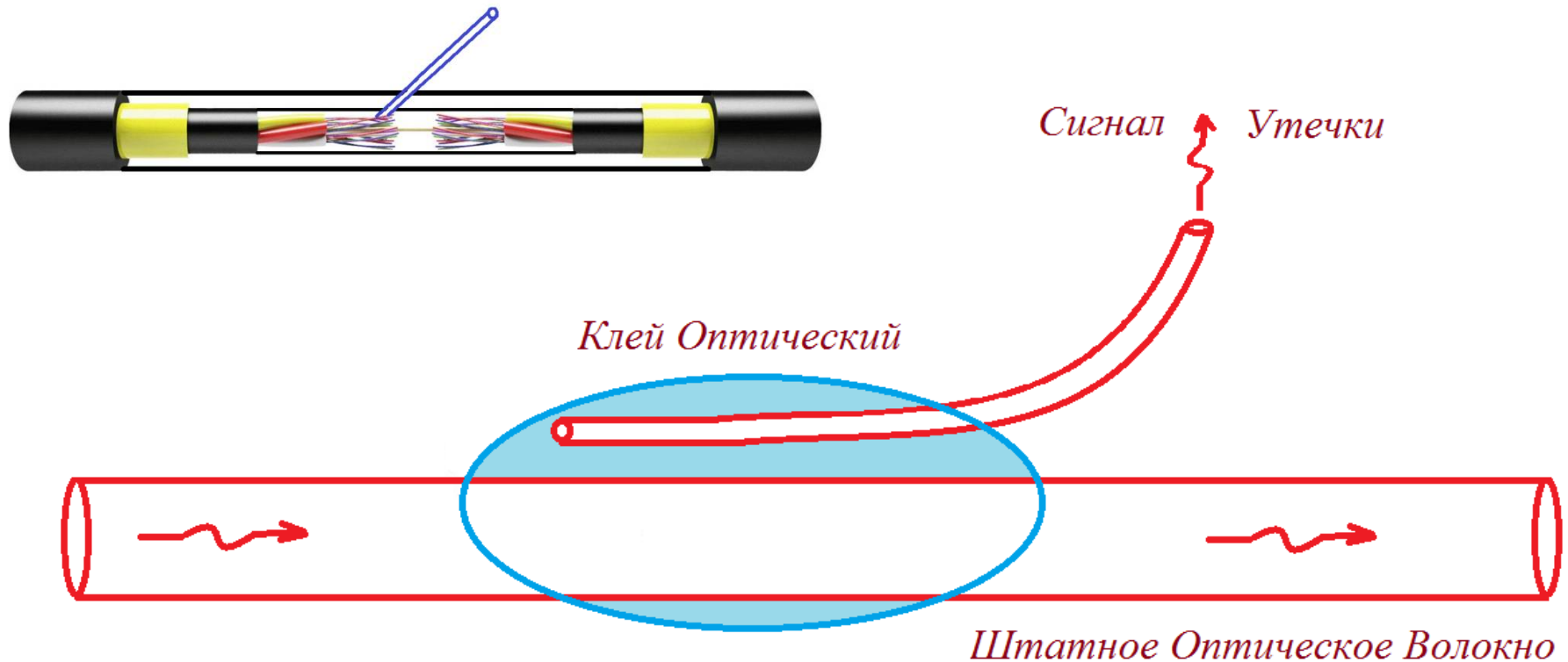
- ❖ формирование информативного сигнала на основе информационного сигнала путем оптического туннелирования из волокна в охватывающую жидкую среду с показателем преломления выше волокна и отводящую его на регистрирующий элемент



### 3. Контактный НСИ без разрыва оптического волокна

- **Доступ к информационному сигналу при контактном НСИ без разрыва**

- ❖ формирование информативного сигнала на основе информационного сигнала путем оптического туннелирования излучения из волокна в волокно сигнала утечки без разрушения защитных оболочек



### 3. Контактный НСИ без разрыва оптического волокна

#### ○ Доступ к информационному сигналу при контактном НСИ без разрыва

---

#### ❖ Выводы

формирование информативного сигнала без разрыва наиболее эффективно на основе оптического туннелирования, которое позволяет

- ✓ провести перехват с наименьшими изменениями параметров штатного канала связи, и с внесением минимальных потерь;
- ✓ создать канал утечки с малыми собственными шумами;
- ✓ осуществить вывод информативного сигнала на большие расстояния по нештатному оптоволокну (расстояния могут составить км)

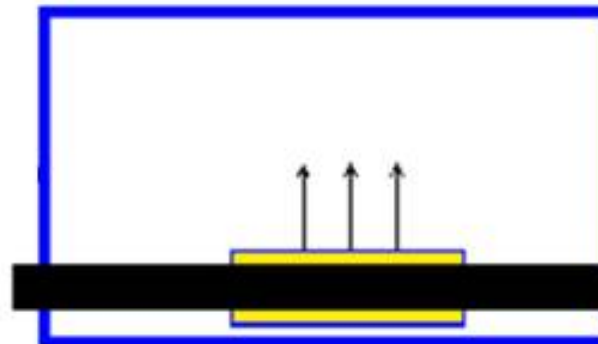
другие методы формирования информативного сигнала создают существенные оптические неоднородности в оптическом канале, которые могут быть легко обнаружены

## 4. Технические решения по дистанционному НСИ

### ○ Дистанционный доступ к информационному сигналу

---

- ❖ перехват трафика возможен дистанционно без контакта и без разрыва оптического волокна сети, он реализуется по сценарию на данном этапе
- получение доступа к оптическому кабелю;
- формирование информативного сигнала в виде
  - ✓ побочного оптического излучения
  - ✓ сопутствующего неоптического излучения
  - ✓ параметров оптического волокна
- регистрация информативного сигнала





## 4. Технические решения по дистанционному НСИ

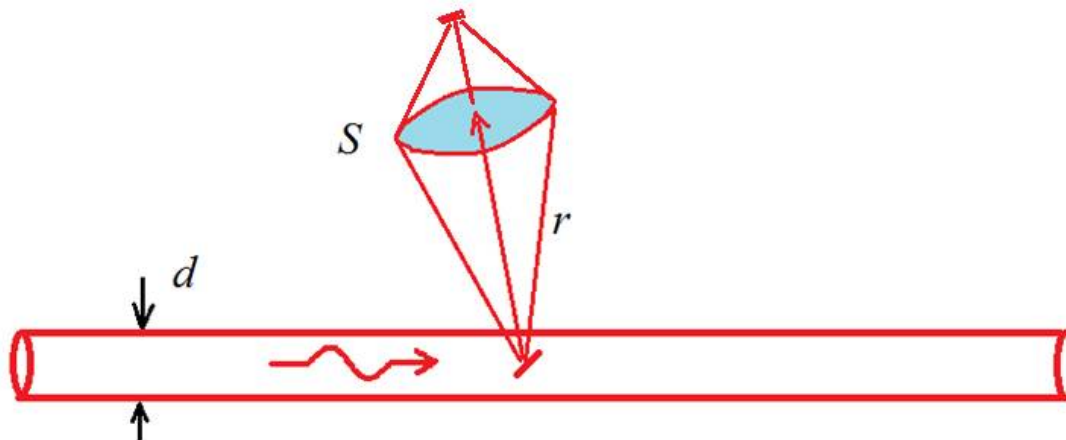
### ○ Дистанционный доступ к информационному сигналу

---

❖ перехват трафика на основе побочных оптических излучений

$$P_{leak} = P_{link} \cdot \frac{4S}{\pi d^2} \cdot k \cdot \left(\frac{d}{\lambda}\right)^2 \left(\frac{d}{r}\right)^2$$

k – коэффициент отражения от дефекта, d – диаметр модового поля



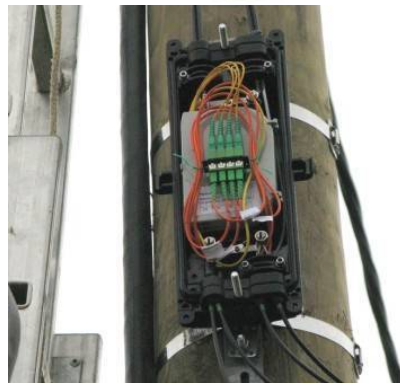
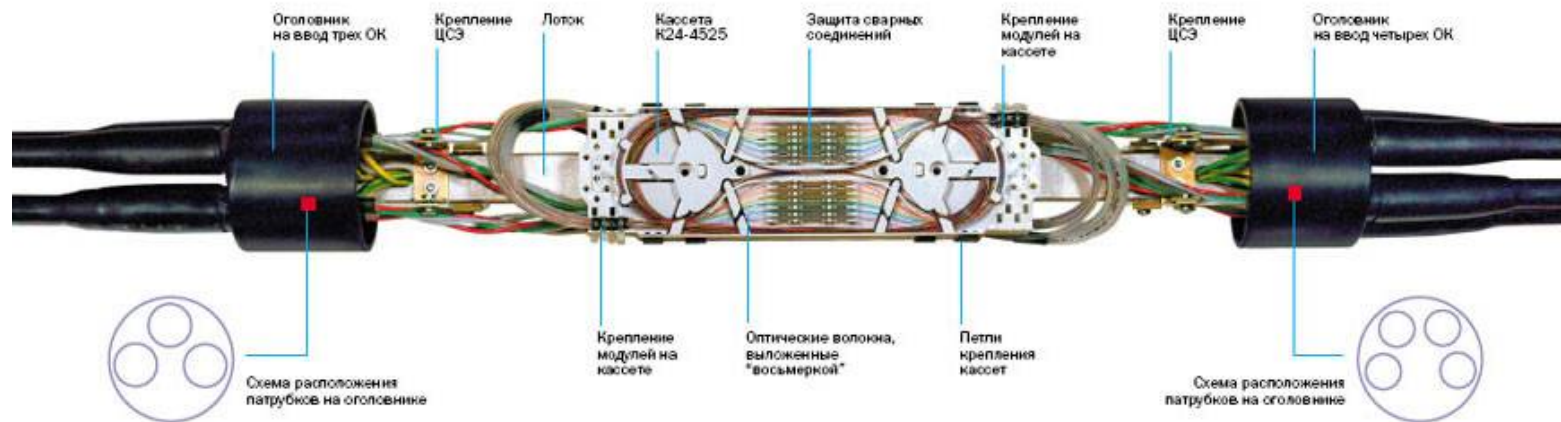
мощность сигнала утечки ( $P_{leak}$ ) растет с увеличением апертуры приемника ( $S$ ) и уменьшением расстояния ( $r$ ) от волокна при фиксированной мощности информационного сигнала ( $P_{link}$ )

## 4. Технические решения по дистанционному НСИ

### ○ Дистанционный доступ к информационному сигналу

#### ❖ перехват трафика на основе побочных оптических излучений

достижение максимальной эффективности возможно при формировании сигнала утечки от оптических неоднородностей штатной сети таких как: соединительные элементы сети – оптические муфты

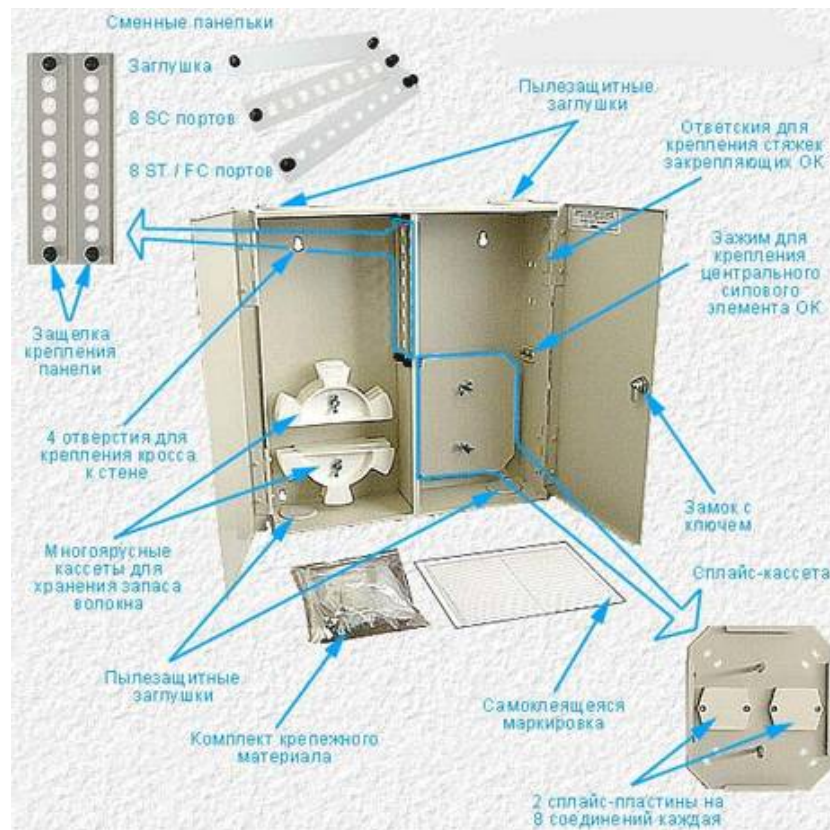


## 4. Технические решения по дистанционному НСИ

### ○ Дистанционный доступ к информационному сигналу

#### ❖ перехват трафика на основе побочных оптических излучений

достижение максимальной эффективности возможно при формировании сигнала утечки от оптических неоднородностей штатной сети таких как: коммутационные элементы сети – оптический кросс

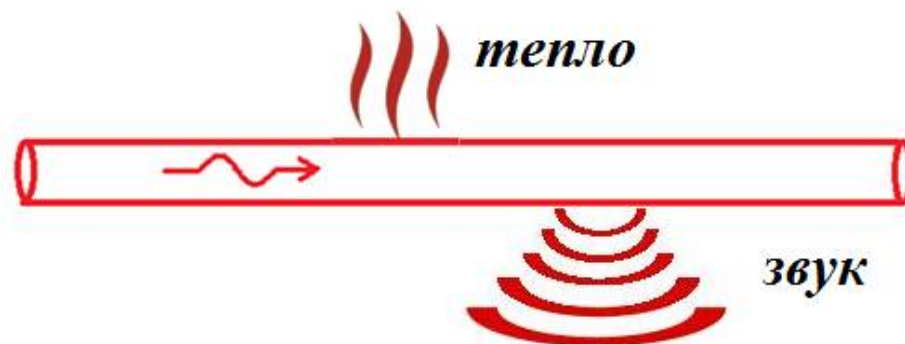


## 4. Технические решения по дистанционному НСИ

### ○ Дистанционный доступ к информационному сигналу

---

- ❖ перехват трафика на основе сопутствующий неоптических излучений



распространение света в оптоволокне сопровождается излучением:

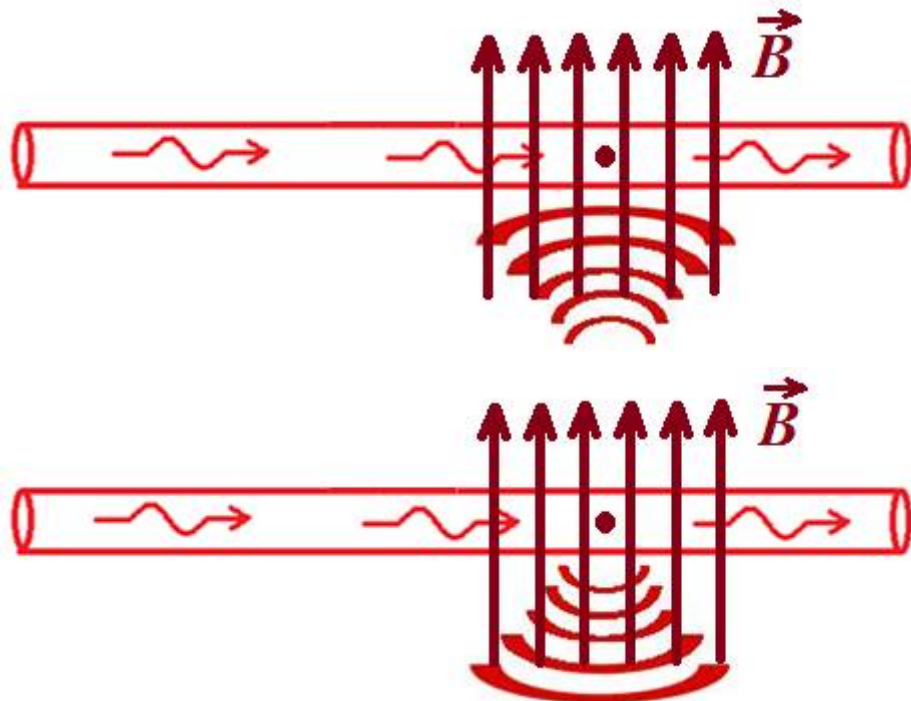
- теплового излучения – вызванных поглощением света в волокне
- акустических волн – вызванных обратным фотоупругим эффектом
- электромагнитных излучений – нелинейным взаимодействием мод

на их основе возможно формирование информативных сигналов, связанных с информационным сигналом, регистрация и демодуляция может привести к формированию ТКУИ

## 4. Технические решения по дистанционному НСИ

### ○ Дистанционный доступ к информационному сигналу

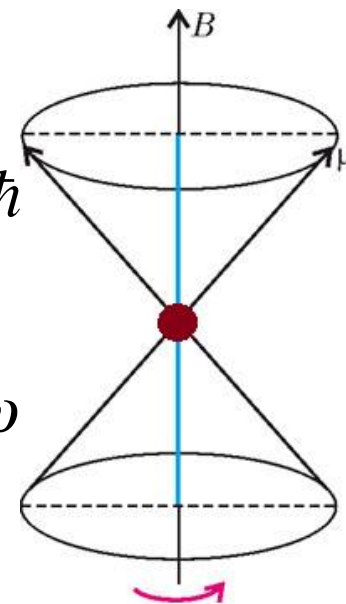
- ❖ перехват трафика на основе сопутствующий неоптических излучений
- формирование сопутствующего электромагнитного излучения при взаимодействии информационного сигнала оптического диапазона с магнитными моментами ядер  $\mu$  сердцевины и оболочек волокна находящихся в магнитном поле  $B$ ,  $\gamma$  – гиромагнитное отношение,  $s$  - спин



$$\mu = \gamma \sqrt{s(s+1)} \hbar$$

$$E = \pm \mu B$$

$$\Delta E = 2\mu B = \hbar \omega$$

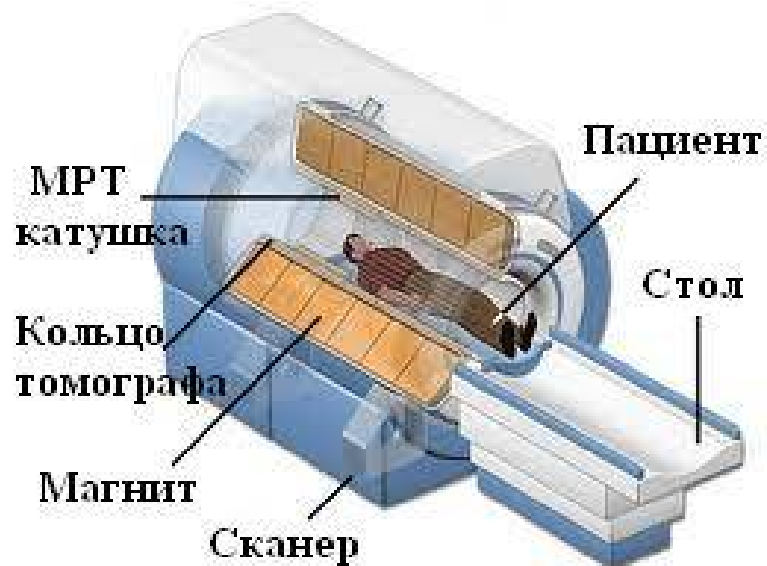
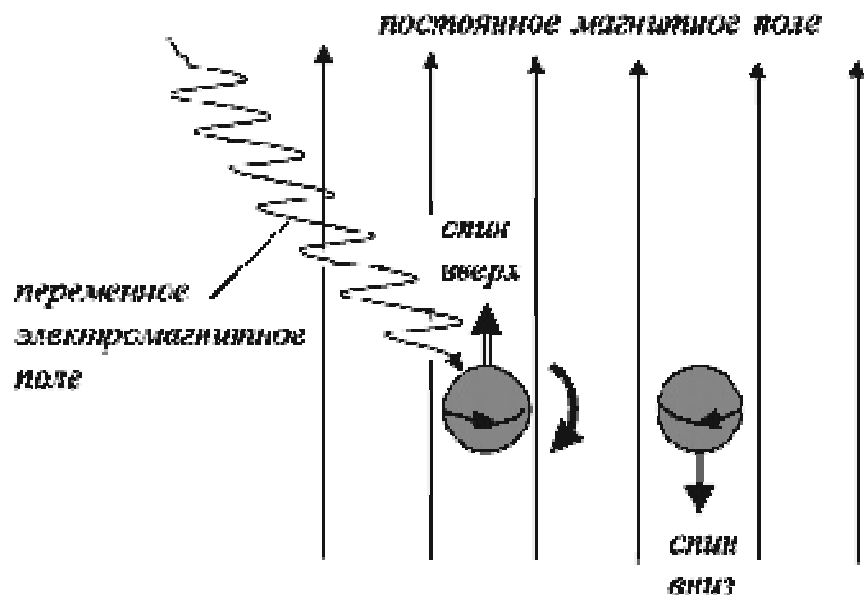


## 4. Технические решения по дистанционному НСИ

### ○ Дистанционный доступ к информационному сигналу

- ❖ перехват трафика на основе сопутствующий неоптических излучений

Магнитно-Резонансная Томография (МРТ) – метод получения диагностических изображений, основанный на использовании явления ядерно-магнитного резонанса. Современные томографы имеют магниты, создающие поле от 1,5 до 3 Тесла, а рекордные на сегодня установки способны достичь отметки 9,4 Тесла, строятся на 11,5 Тесла.

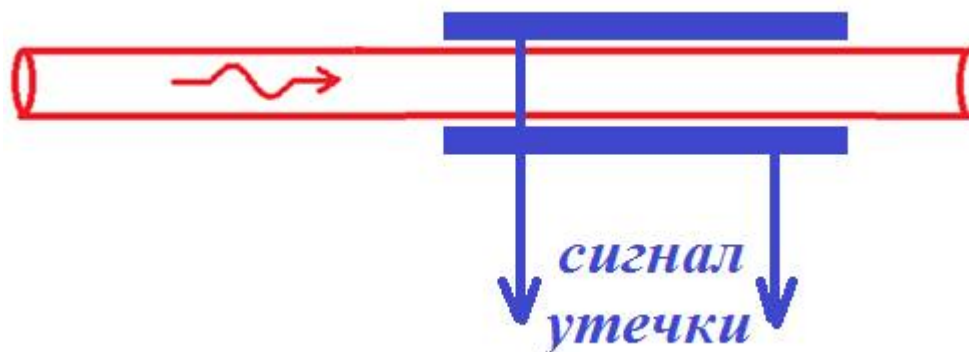


## 4. Технические решения по дистанционному НСИ

### ○ Дистанционный доступ к информационному сигналу

---

- ❖ перехват трафика на основе модуляций параметров оптического волокна информационным сигналом



оптическое излучение информационного сигнала вызывает модуляцию параметров оптического волокна, которое регистрируется с помощью устройств;

в качестве параметра может выступать

- ✓ геометрические характеристики, механические напряжения, оптические неоднородности, электрические параметры волокна

## 4. Технические решения по дистанционному НСИ

### ○ Дистанционный доступ к информационному сигналу

---

- ❖ Формирование дистанционного доступа возможно в различных вариантах формирования информативного сигнала
- ✓ наибольшую опасность представляют побочные оптические излучения – при определенных благоприятных для нарушителя условиях перехват возможен на расстояниях более 5 м;
- ✓ информативность сопутствующих излучений сильно зависит от их природы, наибольшую опасность представляют сигналы утечки электромагнитной природы;
- ✓ параметрическая регистрация информативных сигналов, ограничивается близостью к оптическому кабелю, только на малых расстояниях возможно проведение эффективной регистрации параметров волокна;



## 5. Методы повышения эффективности ТКУИ по перехвату

### ○ Общие замечания

---

- ❖ повышение эффективности ТКУИ основано на
  - увеличении чувствительности метода путем
    - ✓ повышения доли отводимого оптического излучения (рост  $P_{\text{signal}}$ )
    - ✓ повышения чувствительности регистрирующей аппаратуры (рост  $P_{\text{sense}}$ )
  - увеличение вклада информативного сигнала на фоне шума путем
    - ✓ понижения шумов в канале утечки (снижение  $P_{\text{noise}}$ )
    - ✓ понижения шума при отводе оптического излучения (снижение CNL)
  - использование дополнительных/избыточных данных/информации об информационном или информативном сигналах для
    - ✓ повышения отношения сигнала к шуму (SNR)

## 5. Методы повышения эффективности ТКУИ по перехвату

### ○ **Направленность распространения информативного сигнала**

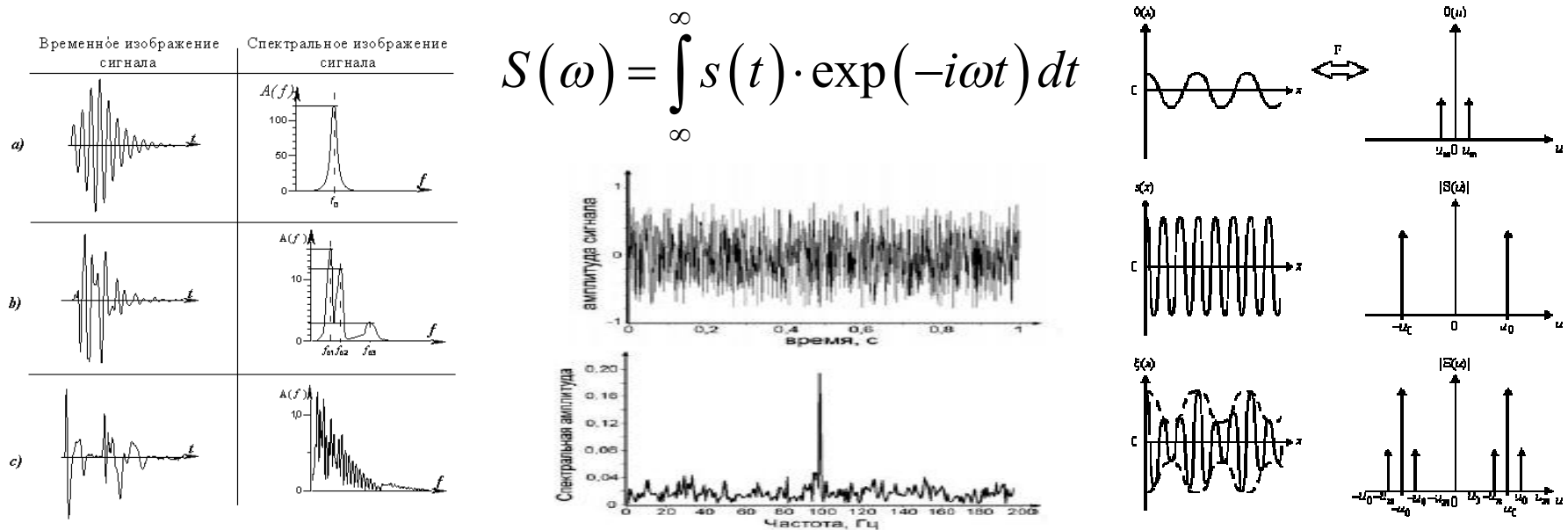
---

- ❖ повышение эффективности ТКУИ основано на использовании или создании дефектов с высокой степенью направленности побочных оптических излучений
- ✓ расходимость сигнала утечки не может быть ниже дифракционного предела расходимости луча ( $\lambda/d$ )
- ✓ увеличение апертуры приемника позволяет повысить мощность сигнала утечки
- ✓ при направленности луча можно уменьшить вклад шумов путем пространственной селекции (выделения направления распространения) сигнала утечки
- ✓ существование дефектов с высокой направленностью луча может быть обусловлено как действиями нарушителя, так и штатными характеристиками оптического канала

## 5. Методы повышения эффективности ТКУИ по перехвату

### ○ **Спектральный анализ – временное и частотное представление сигнала**

носитель сигнала – оптическое излучение на длине волны  $\lambda_0 \pm \Delta\lambda$  (частоте  $\omega_0 \pm \Delta\omega$ ) – область длин волн от 1,6 мкм ( $1,9 \cdot 10^{14}$  Гц) до 0,8 мкм ( $3,8 \cdot 10^{14}$  Гц)  
 сигнал  $s(t)$  представляет собой модуляцию оптического излучения по одному из параметру и имеет спектральное представление  $S(\Omega)$  в области частот  $\Omega_0 \pm \Delta\Omega$  – область частот модуляции от 100 МГц ( $10^8$  Гц) до 100 ГГц ( $10^{11}$  Гц)



## 5. Методы повышения эффективности ТКУИ по перехвату

### ○ **Спектральный анализ**

---

- ❖ по длине несущей волны (носителя) – выделение оптического излучения на длине волны являющейся носителем информационного сигнала

$$\Delta\lambda = (c/v^2)|\Delta\nu| = (\lambda^2/c)|\Delta\nu|$$

$$\lambda \cdot \nu = c = 3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$$

информационный сигнал в оптических системах связи, как правило, монохроматическое излучение в узком спектре длин волн/частот порядка  $\Delta\lambda=0,3 \text{ nm}$  ( $\Delta\nu=100 \text{ GHz}$ ) и менее;

ширина спектра  $(\lambda_2-\lambda_1)$  оптического шума в канале связи много больше полосы носителя  $\Delta\lambda=0,3 \text{ nm}$ , а мощность шума пропорциональна полосе регистрируемого спектра  $(\lambda_2-\lambda_1)$ ;

поэтому сужение регистрируемого спектра до ширины спектра информационного сигнала  $\Delta\lambda$  ( $\Delta\nu$ ) позволяет увеличить отношение SNR в  $(\lambda_2-\lambda_1)/\Delta\lambda$  раз

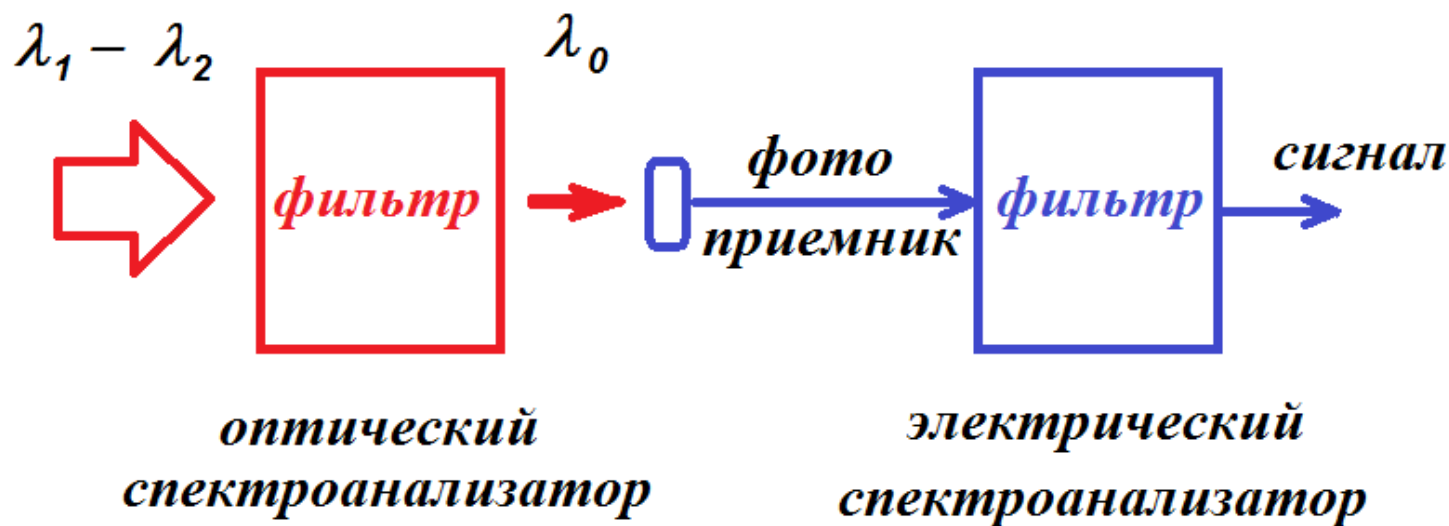
## 5. Методы повышения эффективности ТКУИ по перехвату

### ○ **Спектральный анализ**

---

- ❖ по частоте модуляции носителя – выделение информационного сигнала, обладающего характерной частотой и шириной спектра модуляции

аналогичные действия после регистрации оптического сигнала со спектром модуляции/демодуляции информационного сигнала на фоне шума даст увеличение отношения  $SNR \sim (\Delta f)^{-1/2}$ , где  $\Delta f$  – выделяемая полоса

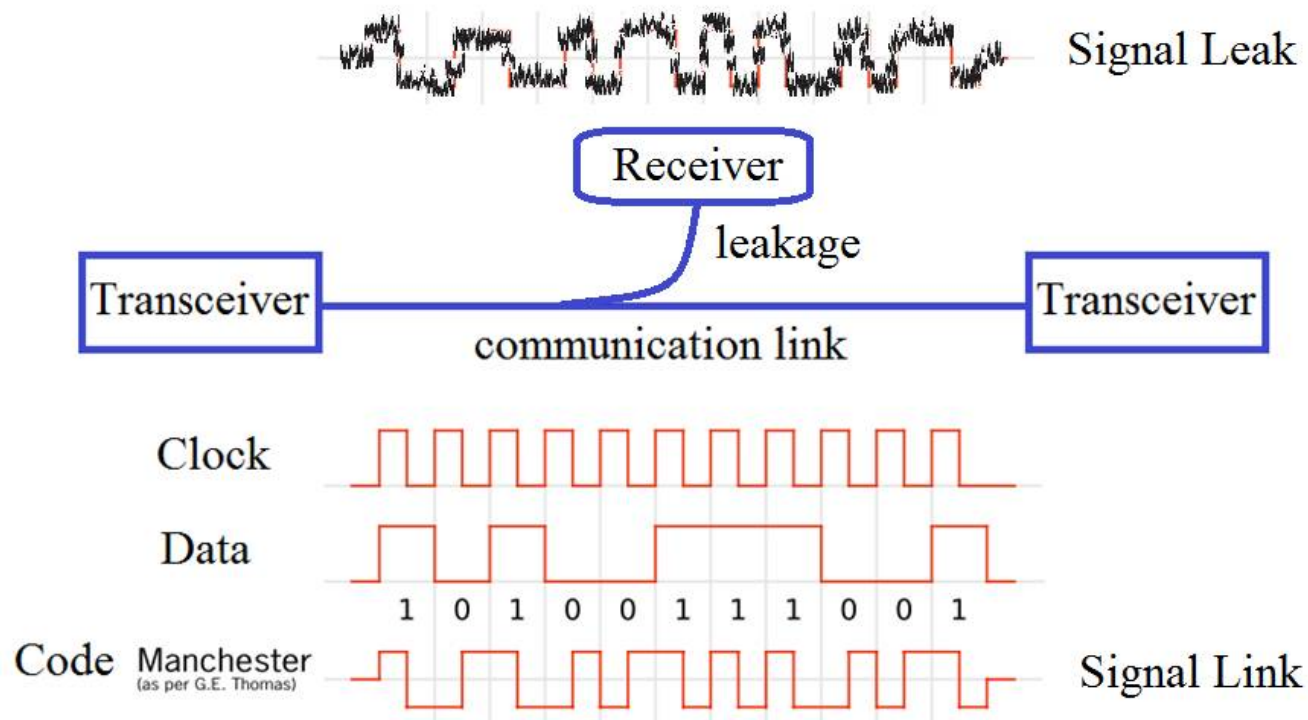


## 5. Методы повышения эффективности ТКУИ по перехвату

### ○ Стробирование (синхронизация) сигнала

❖ для цифровых систем связи

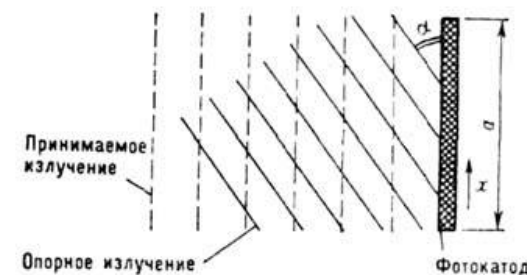
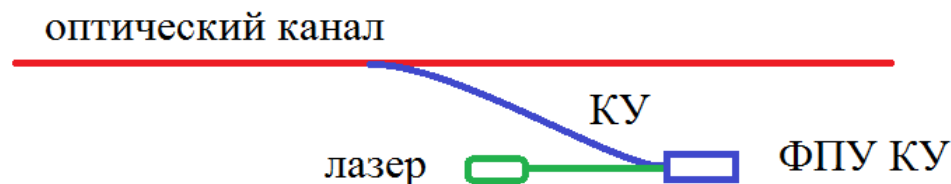
на передачу бита информации отводится фиксированный промежуток времени, поэтому дополнительная синхронизация информационного и информативного сигналов повысит отношение сигнала к шуму



## 5. Методы повышения эффективности ТКУИ по перехвату

### ○ Гетеродинирование

- ❖ – входной сигнал “смешивается” с известным (оптическим или электрическим) сигналом, в результате спектр полученного сигнала смещается в область, где шумы меньше.



Полезный сигнал  $S(t)$  имеет спектр вблизи частоты  $f$ , а известный имеет частоту  $f_m$ , после смешения

$$U(t) = (\alpha + \beta \cdot S(t)) \cdot \sin(2\pi f_m t)$$

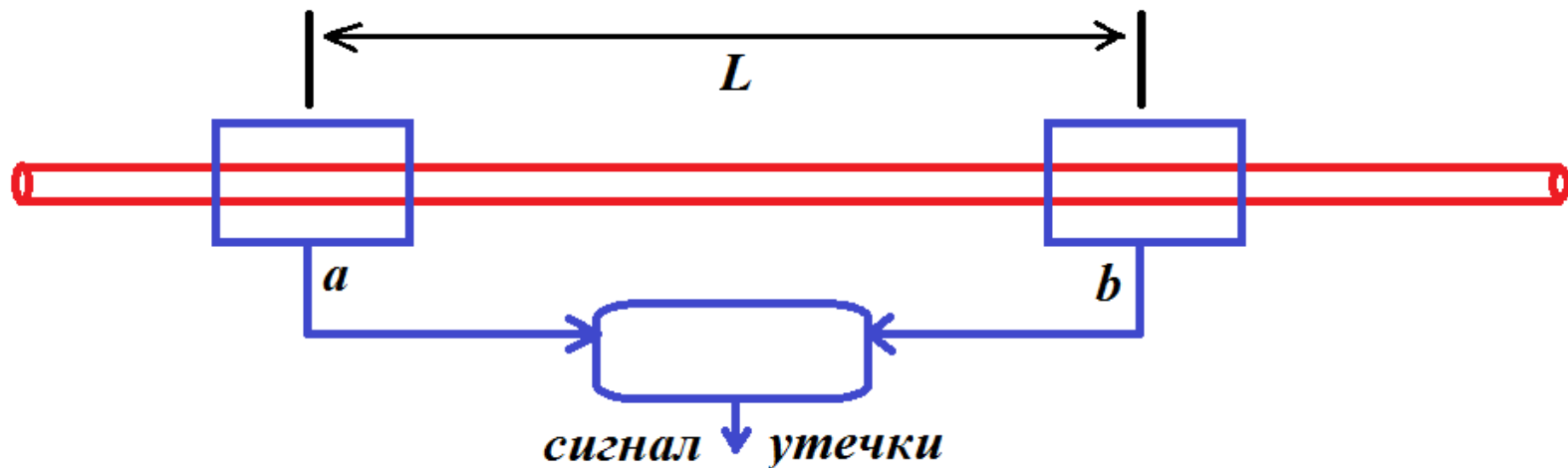
тогда, если  $\alpha \neq 0$ , то спектр будет иметь составляющие на частоте несущей  $f_m$  и на боковых частотах  $f \pm f_m$ , если  $\alpha = 0$ , то только боковые полосы  $f \pm f_m$

При переходе в другую часть спектра вклад шумов остается из полосы несущей.

Синхронное детектирование

## 5. Методы повышения эффективности ТКУИ по перехвату

### ○ Корреляционные методы



проведение сравнительных измерений одного и того же сигнала разными методами, по разным параметрам, на разных участках линии и др.

Вычисление:  $a(t) \approx b(t-\tau)$ , где  $\tau = Ln/c$ ,  $c = 3 \cdot 10^8$  m/sec,  $n = 1,4$

$\langle (a-b)^2 \rangle$  - пропорционально мощности шумам  $\langle (a+b)^2 \rangle$  - удвоенной мощности сигнала и шума, а  $[\langle (a+b)^2 \rangle - \langle (a-b)^2 \rangle] / 2$  - пропорционально только мощности сигнала??



## 5. Методы повышения эффективности ТКУИ по перехвату

### ○ Подключение к оптическому каналу и регистрация сигнала утечки

---

#### ❖ Дополнительно

эффективность информативного сигнала зависит

- ✓ от выбора места присоединения  
любые штатные или созданные не локальности оптического канала повышают эффективность регистрации информативного сигнала
- ✓ от воздействия физических полей  
любое воздействие, повышающее мощность информативного сигнала, его направленность, повышают эффективность канала утечки
- ✓ от характеристик фотоприемного модуля  
использование ФПУ с малыми шумами повышает отношение SNR
- ✓ от избыточных знаний/данных об информационном сигнале, принципах формирования и параметрах информативного сигнала  
данные могут быть использованы для повышения отношения SNR

## 6. Маскирующие и демаскирующие эффекты ТКУИ

### ○ Принципы формирования ТКУИ

---

❖ формирование канала утечки всегда связана

1. или с отводом части штатного излучения;
2. или с энергетическими затратами на создание информативного сигнала;
3. или с воздействием на волоконно-оптический канал и регистрацией вызванным им изменением параметров волоконно-оптического канала;

□ все способы формирования ТКУИ изменяют или параметры информационного сигнала или параметры среды канала связи (оптического волокна)

## 6. Маскирующие и демаскирующие эффекты ТКУИ

### ○ **Эффекты маскирующие ТКУИ**

---

❖ нарушитель при формировании ТКУИ для его сокрытия от ТСЗИ может использовать

1. штатные неоднородности оптической сети;

например: разрыв волокна и установка оптоволоконной вставки в местах штатных сварных соединений (соединительная муфта, оптический кросс и т.д.)

2. минимальные воздействия с высокочувствительной регистрацией информативного сигнала;

например: использование естественных оптических излучений на неоднородностях сети для формирования информативного сигнала

## 6. Маскирующие и демаскирующие эффекты ТКУИ

### ○ **Эффекты демаскирующие ТКУИ**

---

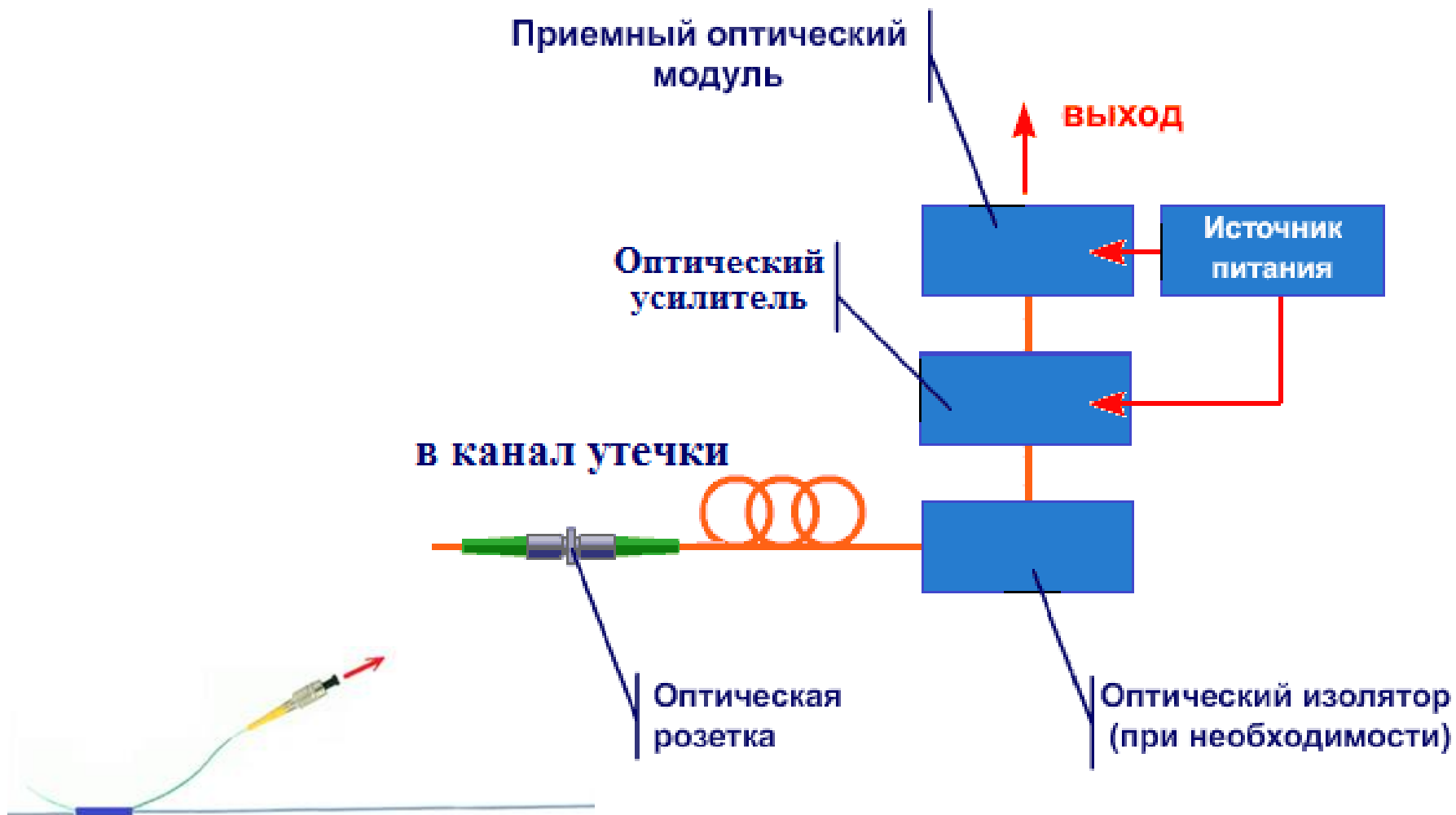
❖ действия нарушителя по формированию ТКУИ ведут к изменению параметров оптической сети, что может быть зарегистрировано ТСЗИ  
подключение к оптическому каналу с целью создания ТКУИ ведет к неизбежным изменениям параметров оптической сети:

- ✓ повышению оптических потерь сети;
- ✓ появлению нештатных излучений;
- ✓ появлению не задекларированных неоднородностей в сети;
- ✓ изменению времени прохождения сигнала;
- ✓ кратковременных нарушений работы сети;
- ✓ нарушению защитных оболочек кабеля;

и другим изменениям в работе, инфраструктуре оптической сети.

## 7. Возможная структура ТКУИ по перехвату трафика

- **Обобщенная структура ТКУИ через ВОК**



## 7. Возможная структура ТКУИ по перехвату трафика

### ○ **Обобщенная структура ТКУИ через ВОК**

---

#### ❖ особенности приемного модуля:

- ✓ оптический изолятор отсекает шумы регистрирующей аппаратуры канала утечки;
- ✓ оптический усилитель позволяет снизить отводимую мощность до минимальной;
- ✓ аппаратура регистрации по параметрам не хуже штатного трансивера;
- ✓ основные шумы при выводе оптического излучения из штатного канала связи в канал утечки;
- ✓ оптоволоконная вставка на эффекте оптического туннелирования дает минимальный шум;

## 7. Возможная структура ТКУИ по перехвату трафика

### ○ **Обобщенная структура ТКУИ через ВОК: выводы**

---

– подключение и перехват трафика возможен в различных оптических схемах, в том числе и дистанционно;

дистанционный метод формирования информативного сигнала наиболее трудоемкий метод, эффективно реализуемый только в непосредственной близости к кабелю – менее 1 м.

– наиболее эффективен способ подключения на основе оптического туннелирования, которое позволяет сократить вносимые и возвратные потери;

– для перехвата возможно использование особенностей сети по подключению через штатные разъемы путем включения ответвителя излучения;

# Темы для обсуждения по лекциям 5-6

## «Способы и техника перехвата трафика»

Контактный НСИ с разрывом оптического канала и волоконно-оптическим ответвителем (вставкой);

Контактный НСИ без разрыва оптического канала: ответвление на изгибе волокна и на основе оптического туннелирования ;

Технические решения по дистанционному НСИ: побочные и сопутствующие излучения, параметрические и другие методы;

Методы повышения эффективности перехвата: выбор неоднородностей сети, воздействие на сеть и другие методы;

Эффекты маскирующие и демаскирующие канал утечки при контактном и дистанционном НСИ и их использование в системах защиты трафика;

Структура возможного ТКУИ по перехвату трафика из волоконно-оптических инфокоммуникаций.

<http://www.analitika.info/>

размещены дополнительные материалы по теме «ИБВОТ»