

$$n = \sqrt{\epsilon \mu}$$

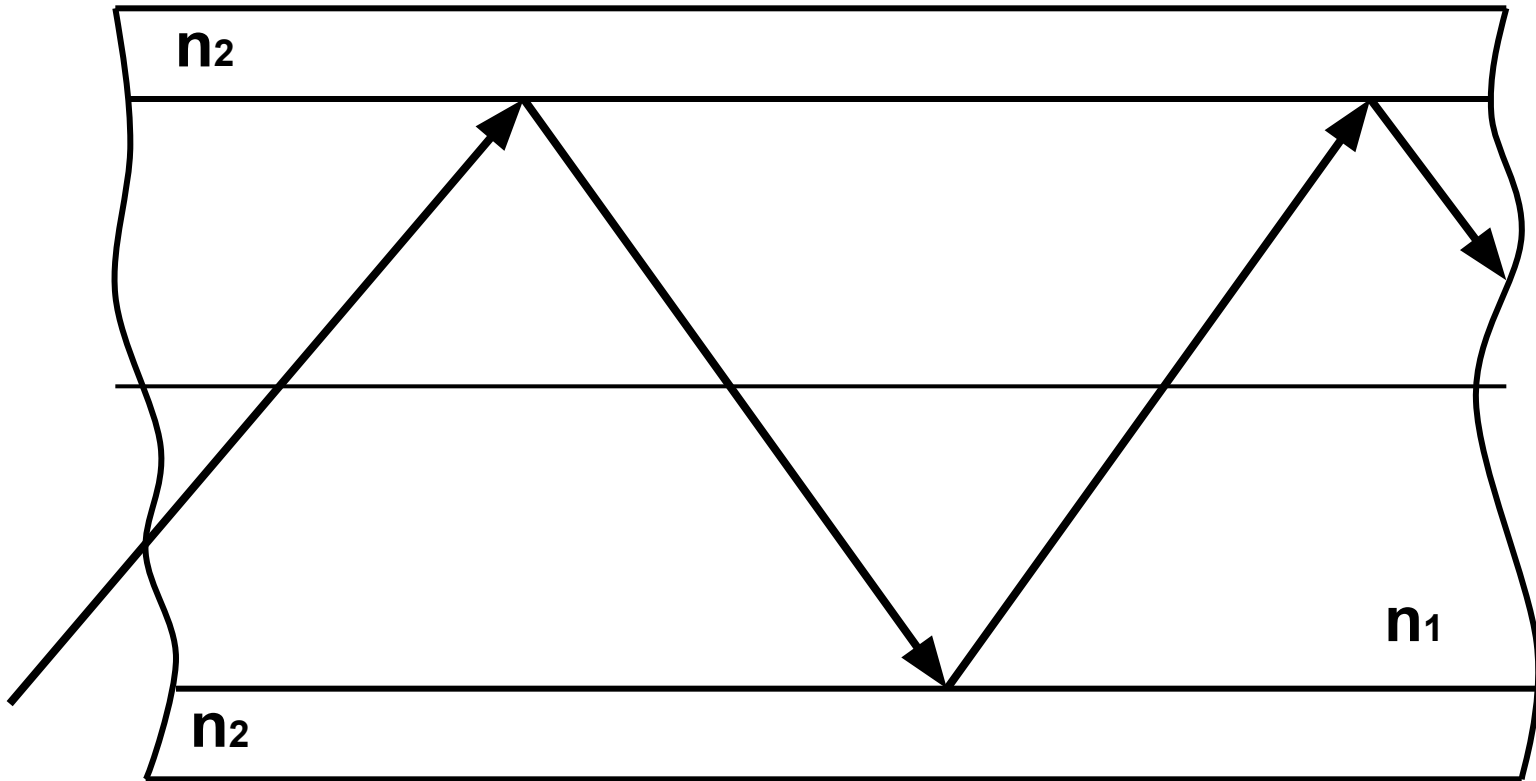
$$n_1 > n_2$$

# Структура ОВ

Оптическое волокно представляет собой двухслойную конструкцию, состоящую из сердцевины и оболочки

- $n$  – показатель преломления среды
- $n_1$  - показатель преломления сердцевины
- $n_2$  - показатель преломления оболочки

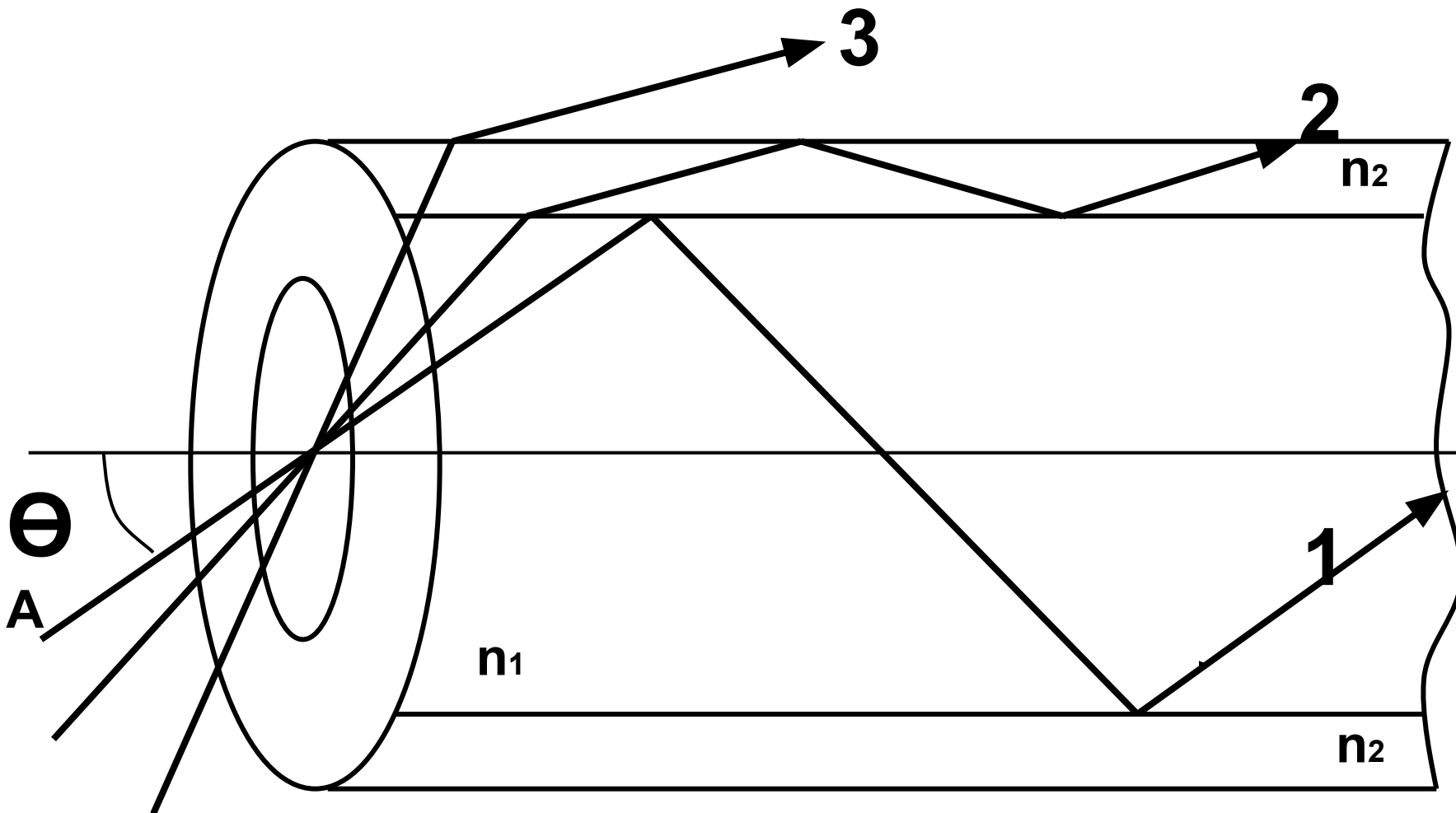
# Ход лучей в волокне



Свет в волокне передается за счет многократных отражений от границы раздела двух сред.

Чтобы энергия не выходила из сердцевины в оболочку или в окружающее пространство, т.е. чтобы не было потерь энергии, необходимо, чтобы выполнялось условие  $n_1 > n_2$ .

# Типы волн, распространяющихся в ОВ.



1 – направляемая волна (мода)

2 - вытекаемая волна (мода)

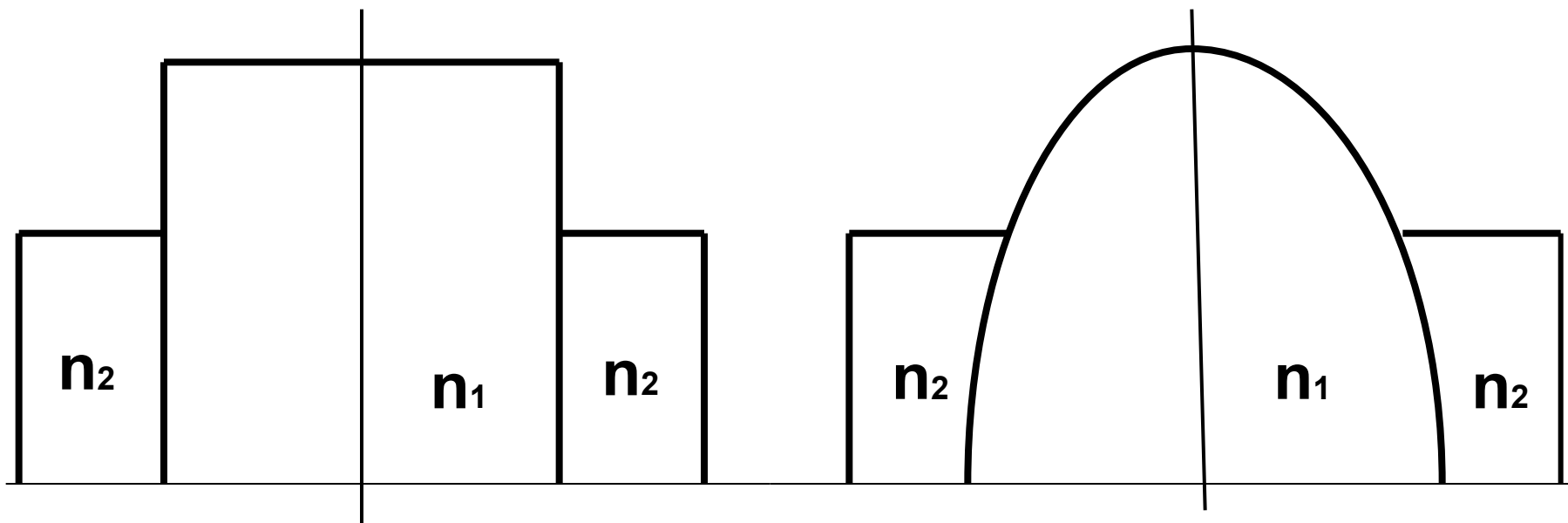
3 – излучаемая волна (мода)

Луч 1 передается без потерь, т.к.  
выполняется условие полного  
внутреннего отражения, а лучи 2 и 3  
соответствуют потерям энергии.

Оптические волокна делятся на два класса:

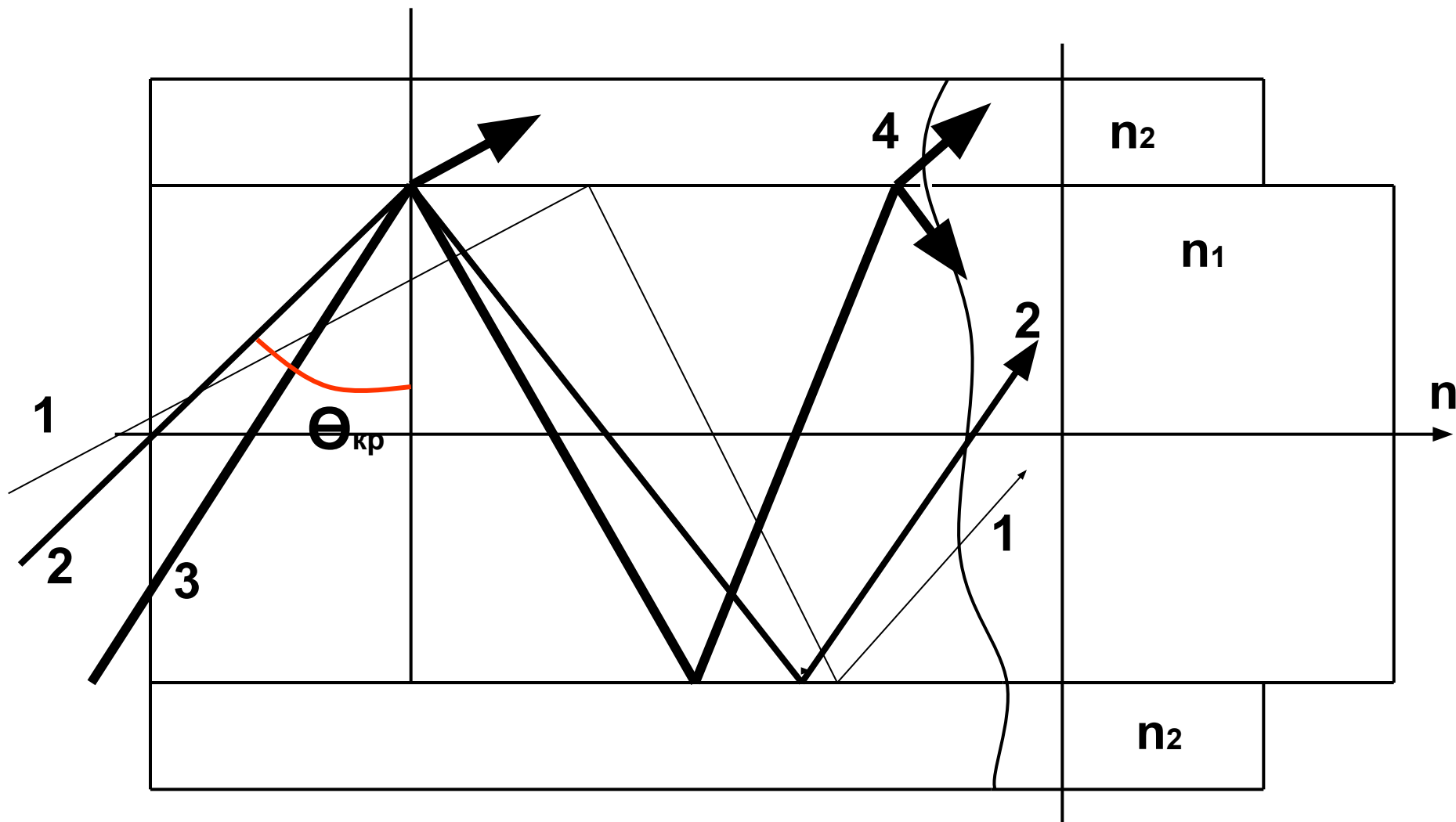
- по профилю показателя преломления (ступенчатые и градиентные);
- по числу передаваемых типов волн (мод) (одно – и многомодовые).

градиентным профилями  
показателя преломления  
(ППП)

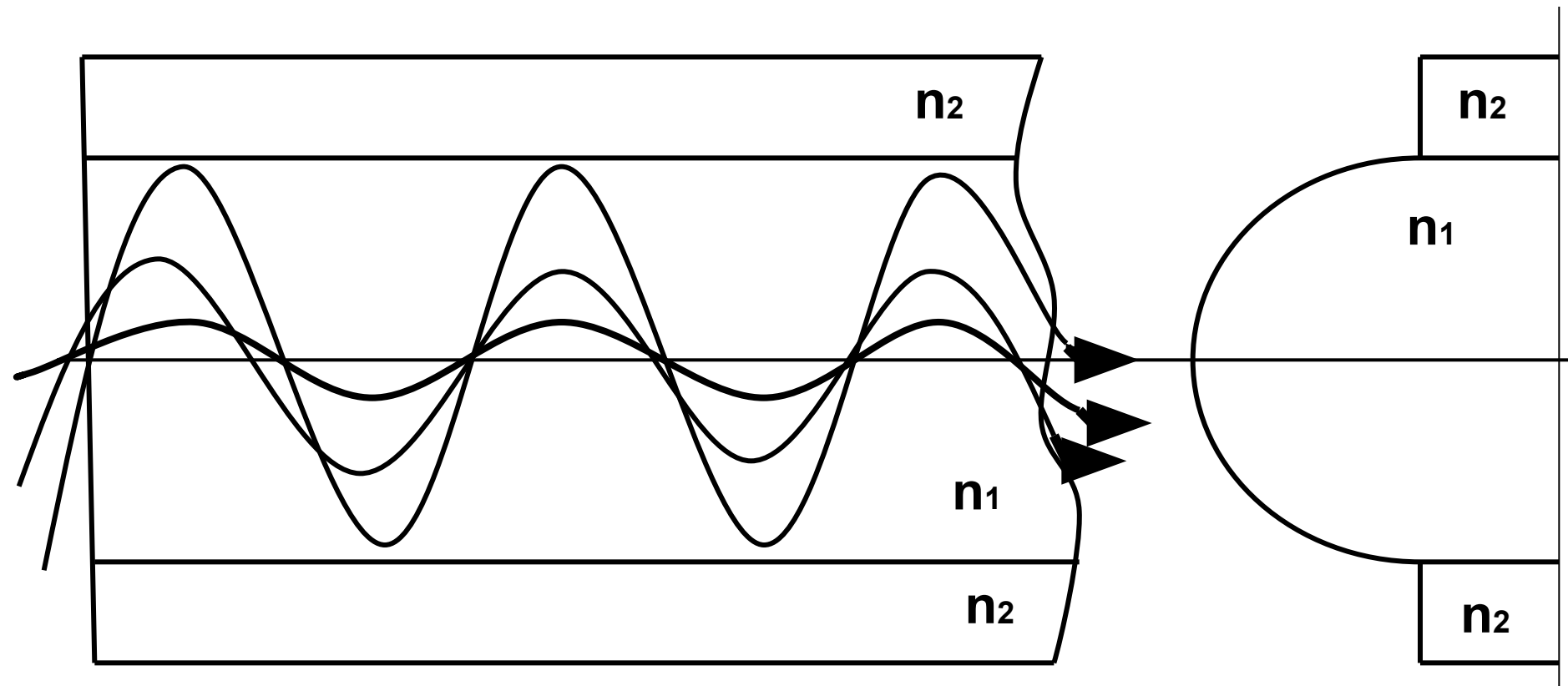




# Оптические волокна со СППГ



# Оптические волокна с ГППП



# Типы ОВ

ОВ делятся на :

- одномодовые ОВ (ООВ) и
- многомодовые ОВ (МОВ)

Размеры: для ООМ

$d_c \text{ оов} = 10 \text{ мкм}$ ,  $d_{об} = 125 \text{ мкм}$ ;

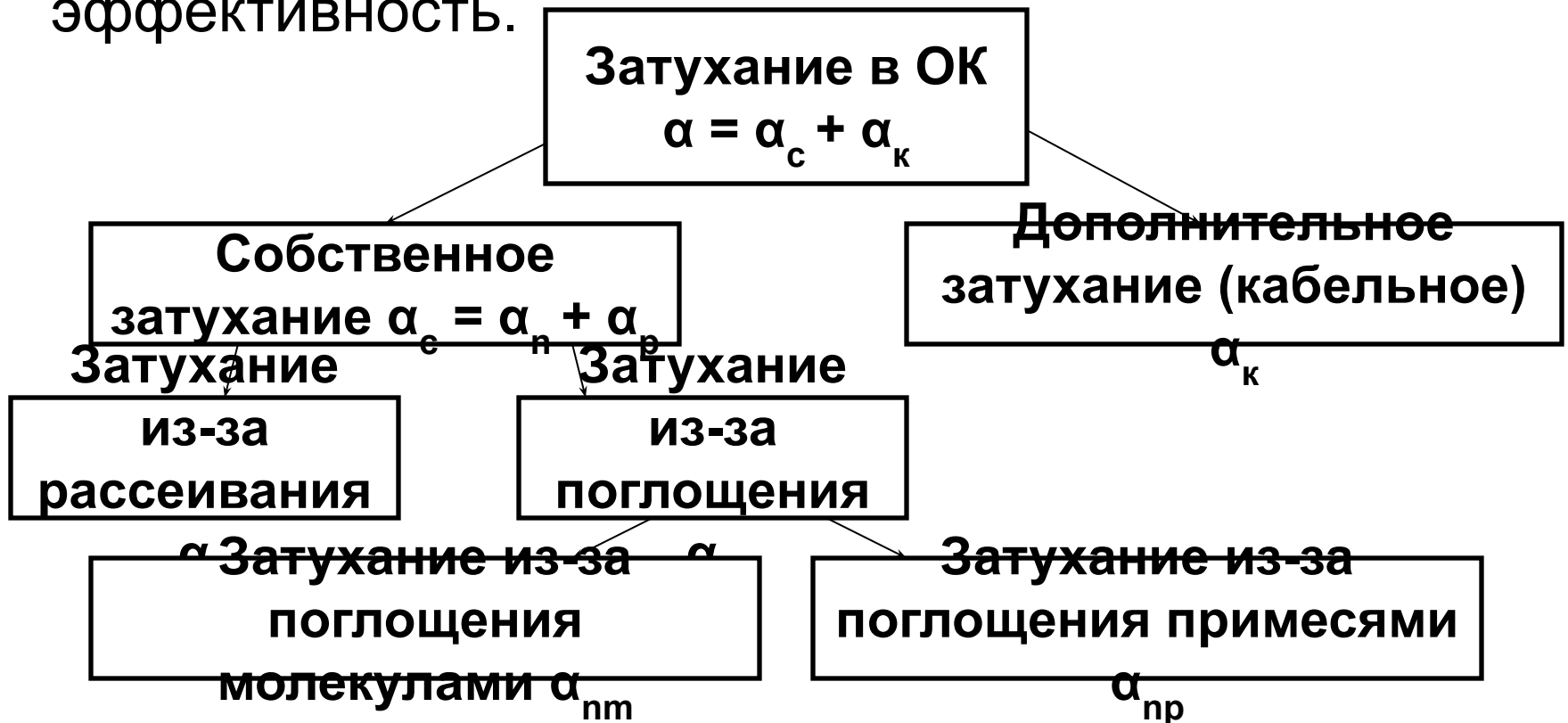
Для МОВ

$d_c = 50 \text{ мкм}$  или  $d_c = 62,5 \text{ мкм}$ ,  $d_{об} = 125 \text{ мкм}$ .

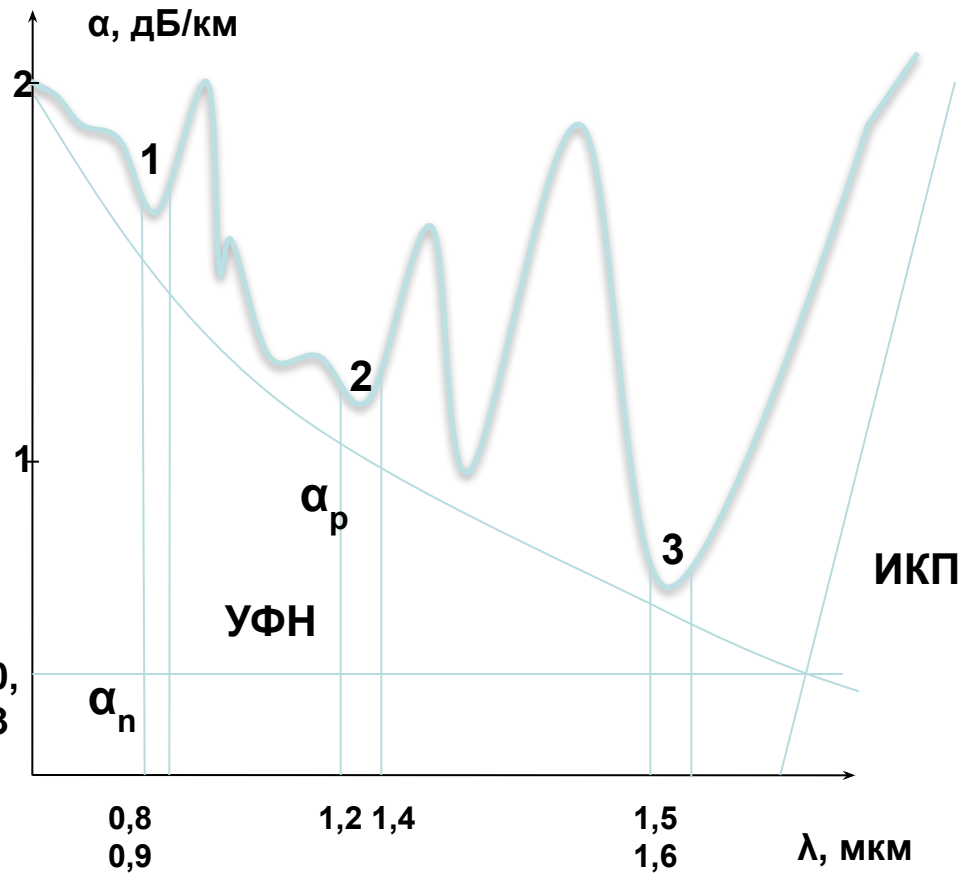
- Многомодовые ОВ могут иметь как ступенчатый, так и градиентный профиль показателя преломления.
- Одномодовые ОВ имеют ***только ступенчатый профиль*** показателя преломления (т.к. диаметр сердцевины очень мал).

# Ослабление сигнала в ВОЛОКОННЫХ СВЕТОВОДАХ

- Важнейшим параметром ВС являются потери и соответственно, ослабление сигнала. Они определяют дальность передачи по ОК и его эффективность.



Потери на поглощение существенно зависят от чистоты материала и при наличии посторонних примесей могут быть значительными

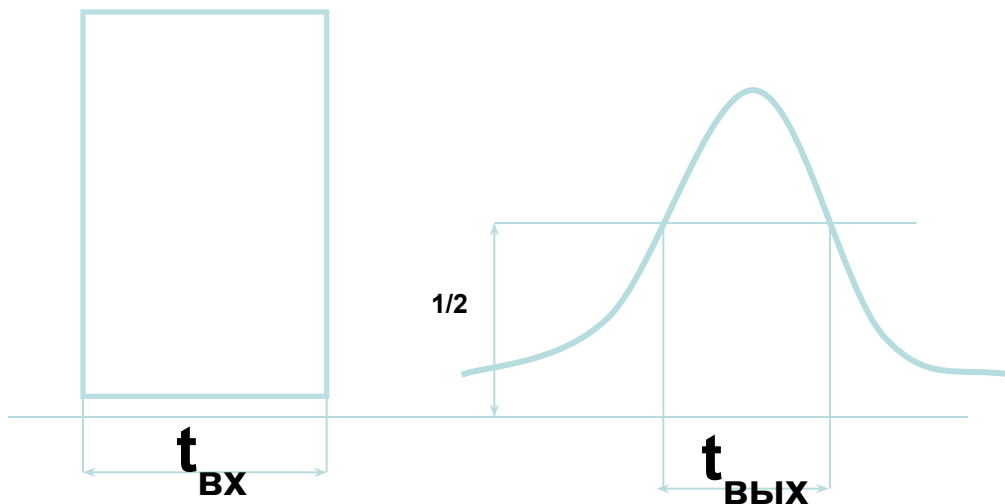


- I окно прозрачности
- II окно прозрачности
- III окно прозрачности
- I –  $\lambda = 0,85 \text{ мкм}$ ,  $\alpha = 3 \text{ дБ/км}$  - МОВ
- II –  $\lambda = 1,3 \text{ мкм}$ ,  $\alpha = 0,7 \text{ дБ/км}$  - МОВ  
 $0,34 - 0,36 \text{ дБ/км}$  - ООВ
- III –  $\lambda = 1,55 \text{ мкм}$ ,  
 $\alpha = 0,22 \text{ дБ/км}$  - ООВ
- IV -  $\lambda = 1,565 - 1,620 \text{ мкм}$
- V –  $\lambda = 1,350 - 1,450 \text{ мкм}$

# Дисперсионные искажения

## СИГНАЛОВ

Одним из важных явлений процесса распространения импульсных сигналов по оптическим кабелям является дисперсия – рассеяние во времени спектральных и модовых (характеристик) составляющих оптических сигналов. В результате дисперсии импульсный сигнал на вход приемного устройства приходит тем более искаженным, чем больше линия



$\Delta F$  – определяет  
объем передаваемой  
информации

$$\tau = \sqrt{t_{\text{ВЫХ}}^2 - t_{\text{ВХ}}^2}, \text{ с.}$$

$$\Delta F = \frac{1}{\tau}, \text{ Гц} * \text{км}$$

Дисперсия приводит к увеличению длительности импульса (уширение импульса) при его прохождении по оптическому кабелю, межсимвольных помех, и в конечном счете – к ограничению пропускной способности кабеля.

Дисперсионные искажения имеют характер фазовых искажений сигнала и обусловлены различием времени распространения различных мод в световоде и наличием частотной зависимости показателя преломления.



Дисперсия вызвана двумя причинами:

- 1) наличием большого числа мод в волокне – модовая дисперсия  $T_{\text{мод}}$  ;
- 2) наличием спектра частот у источника излучения – хроматическая дисперсия  $T_{\text{хр}}$  .

# Хроматическая (частотная) дисперсия

Данная дисперсия вызвана наличием спектра частот у источника излучения, характером диаграммы направленности и его некогерентностью. Она делится на материальную, волноводную и профильную (для реальных волокон)

# Материальная дисперсия

Данная дисперсия объясняется тем, что коэффициент преломления стекла изменяется с длиной волны  $n=\varphi(\lambda)$ , а практически любой, даже лазерный источник излучения генерирует не на одной длине волны ( $\lambda$ ), а в определенном спектральном диапазоне ( $\Delta \lambda$ ). В результате различные спектральные составляющие передаваемого оптического сигнала имеют различную скорость распространения, что приводит к их различной задержке на выходе волокна.

Из-за узкой полосы Излучаемых длин волн у лазерных источников излучения данный вид дисперсии оказывается незначительно, а в некогерентных источниках (СИДах) – полоса пропускания существенно шире, и эта дисперсия проявляется достаточно значительно.

Для инженерных расчетов используют упрощенную формулу, не учитывающую форму профиля показателя преломления (для идеального ступенчатого ППП):

$$\tau_{\text{мат}} = \Delta \lambda * l * M(\lambda),$$

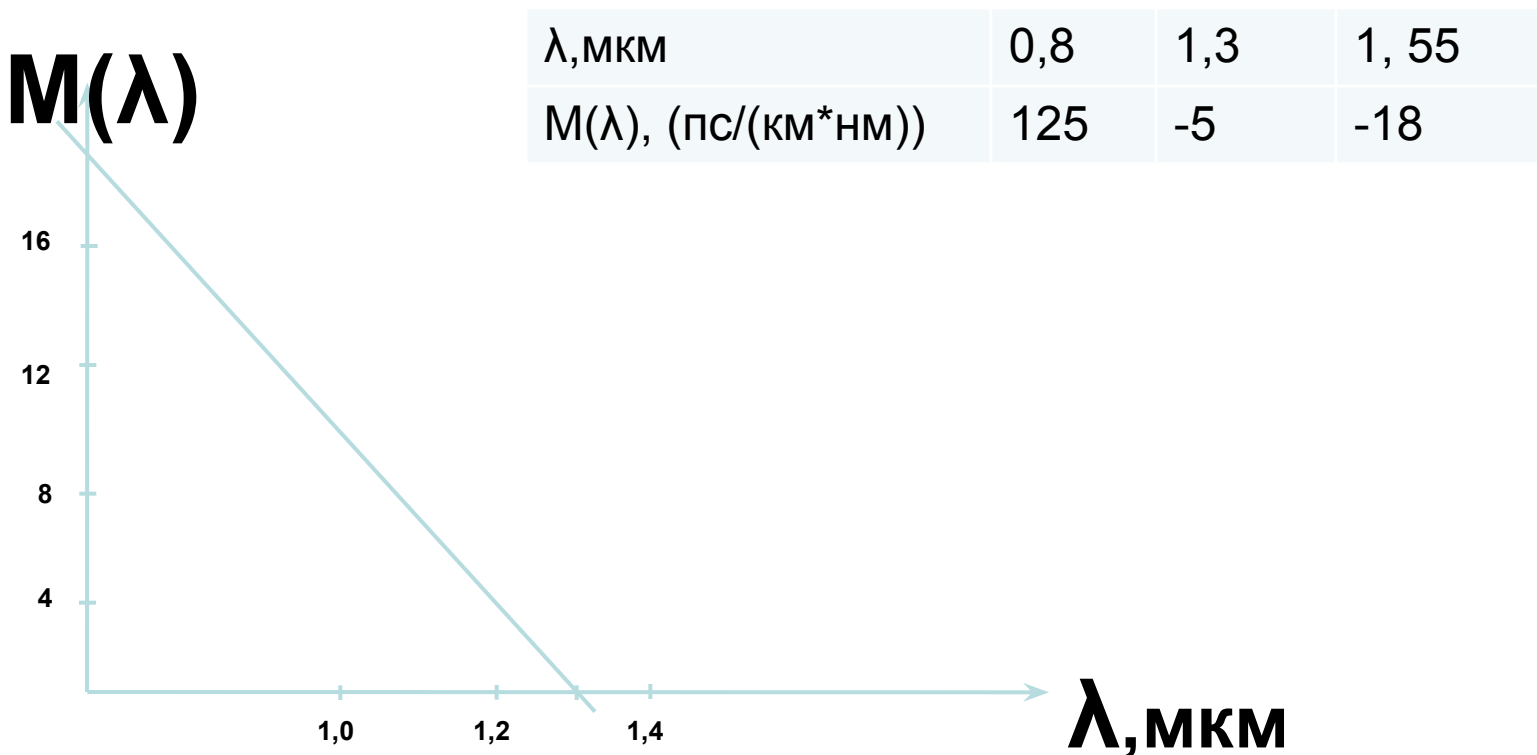
где :  $\Delta \lambda$  – ширина спектра излучения источника обычно соответствует 1-3 нм для лазера и 20-40 нм для СИД;

$M(\lambda)$  – удельная материальная дисперсия (пс/(км\*нм));

$l$  – длина линии, км.

С увеличением длины волны значение  $\tau_{\text{мат}}$  уменьшается, а затем проходит через нуль и приобретает минусовое значение.

Знак и величина материальной дисперсии зависят от материала, используемого для изготовления ОВ. Для кварцевого стекла  $M(\lambda)$  имеет зависимость:



# Волноводная (внутримодовая) дисперсия

Обусловлена процессами внутри моды. Она характеризуется зависимостью коэффициента распространения моды от длины волны  $\gamma = \phi(\lambda)$ . Являясь составной частью хроматической дисперсии, волноводная дисперсия зависит от ширины передаваемого спектра частот.

Для инженерных расчетов используется упрощенная формула:

$$T_{\text{ВВ}} = \Delta \lambda * l * V(\lambda),$$

где:  $V(\lambda)$  – удельная волноводная дисперсия, пс/км \*нм;

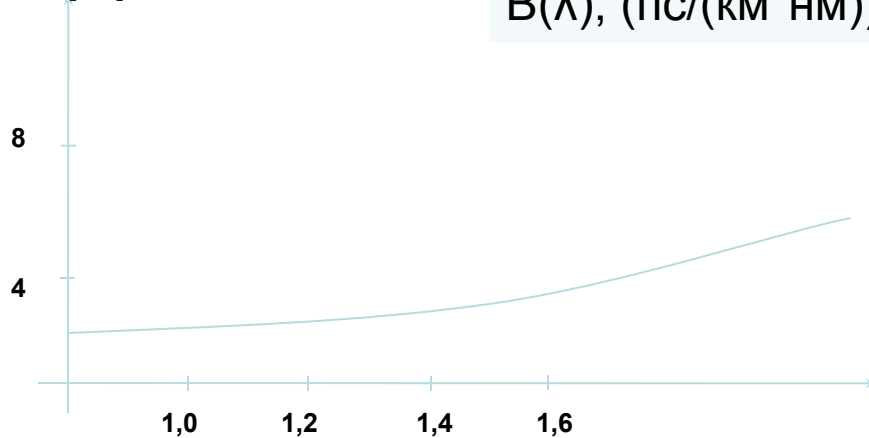
$\Delta \lambda$  – ширина спектра излучения источника, нм;

$l$  – длина линии, км.

Вблизи длины волны  $\lambda = 1,35$  мкм происходит взаимная компенсация материальной и волновой дисперсии

$V(\lambda)$  характеризуется направляющими свойствами сердцевины ОВ; зависимостью групповой скорости моды от длины волны, это приводит к различию скоростей распространения частотных составляющих излучаемого спектра. Поэтому внутримодовая дисперсия, в первую очередь определяется профилем показателя преломления ОВ и пропорциональна ширине спектра излучения источника  $\Delta\lambda$ .

$V(\lambda)$



$\lambda, \mu\text{м}$

0,8

1,3

1,55

$V(\lambda), (\text{пс}/(\text{км} \cdot \text{нм}))$

5

8

12

$\lambda, \mu\text{м}$

# Профильная дисперсия

Профильная дисперсия обусловлена отклонением геометрических размеров волокна от номинальных значений.

Основные причины: поперечные и продольные малые отклонения (флуктуация) геометрических размеров и формы волокна (на пример, небольшая эллиптичность поперечного сечения волокна); изменения границы профиля ПП; осевые и внеосевые провалы ППП, вызванные особенностями технологии изготовления ОВ.



Для инженерных расчетов профильной дисперсии используется следующая формула

$$T_{\text{пр}} = \Delta\lambda * l * P(\lambda),$$

где  $P(\lambda)$  – удельная профильная дисперсия, пс/км \*нм;

$\Delta\lambda$  – ширина спектра излучения источника, нм;

$l$  – длина линии, км.

Продольные флуктуации могут возникать в процессе изготовления ОВ и ОК, строительства и эксплуатации ВОЛС. В ряде случаев профильная дисперсия может оказать существенное влияние на общую дисперсию. Профильная дисперсия может появляться как в многомодовых, так и в одномодовых ОВ.

Результирующее значение дисперсии определяется по формуле:

$$\tau_{рез} = \sqrt{\tau_{мод}^2 + \tau_{хр}^2} = \sqrt{\tau_{мод}^2 + (\tau_{мат} + \tau_{вв} + \tau_{пр})^2}, с.$$