

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

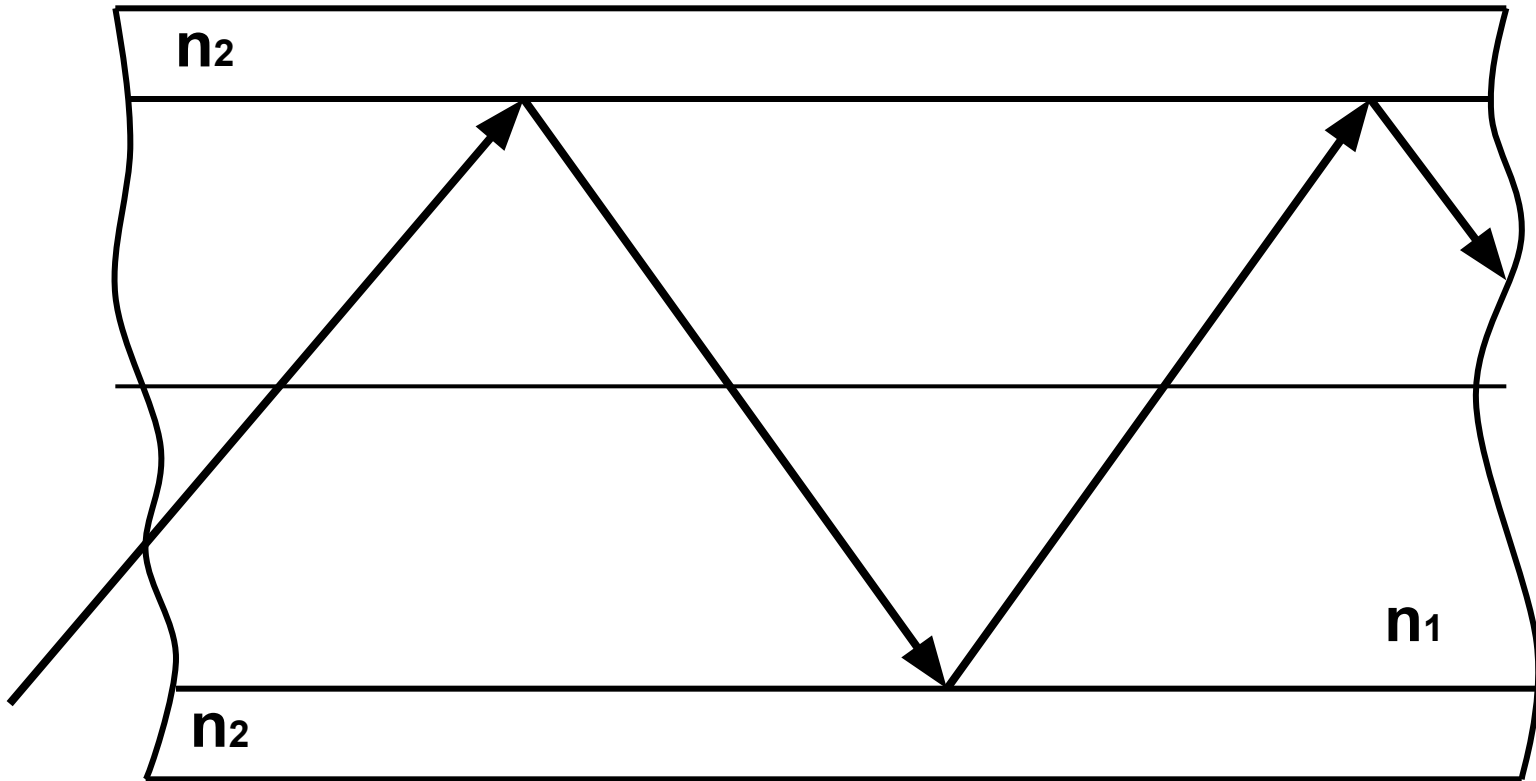
$$n_1 > n_2$$

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

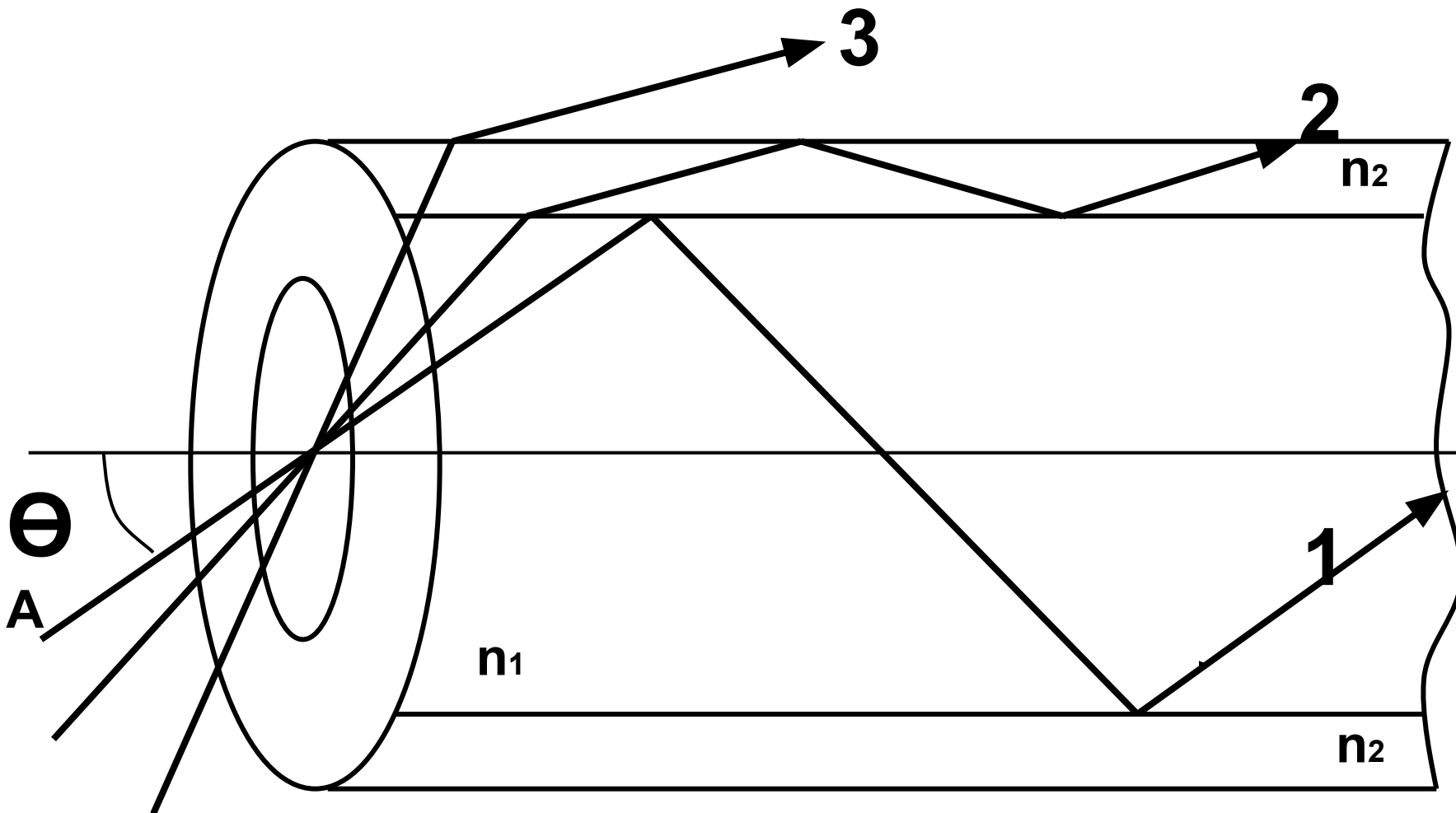
Ход лучей в волокне



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)

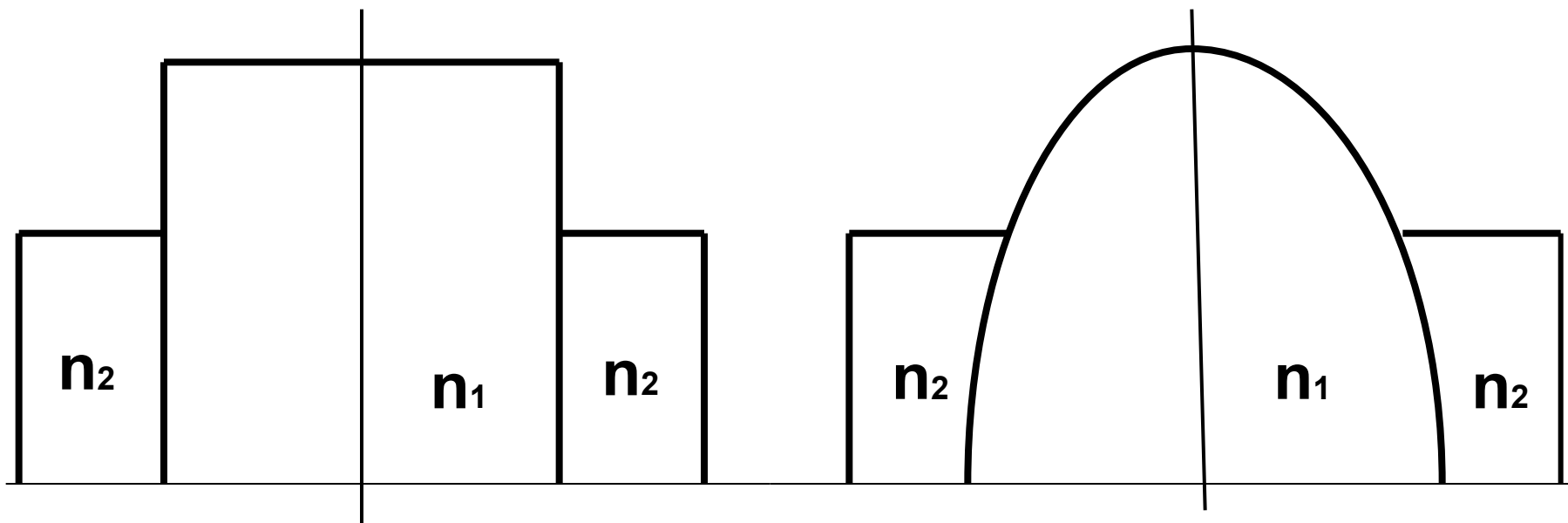
3 – излучаемая волна (мода)

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

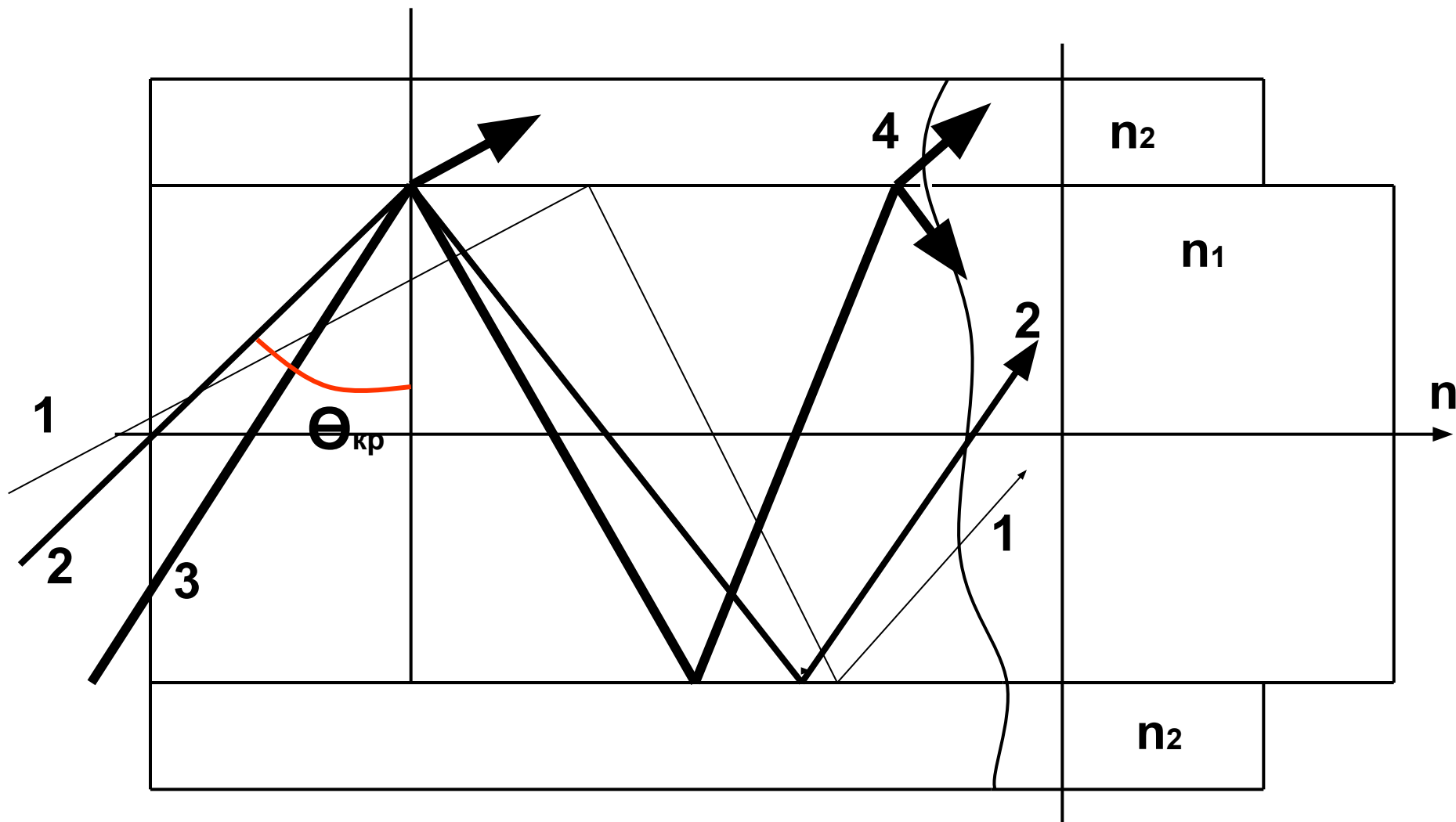
Оптические волокна делятся на два класса:

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

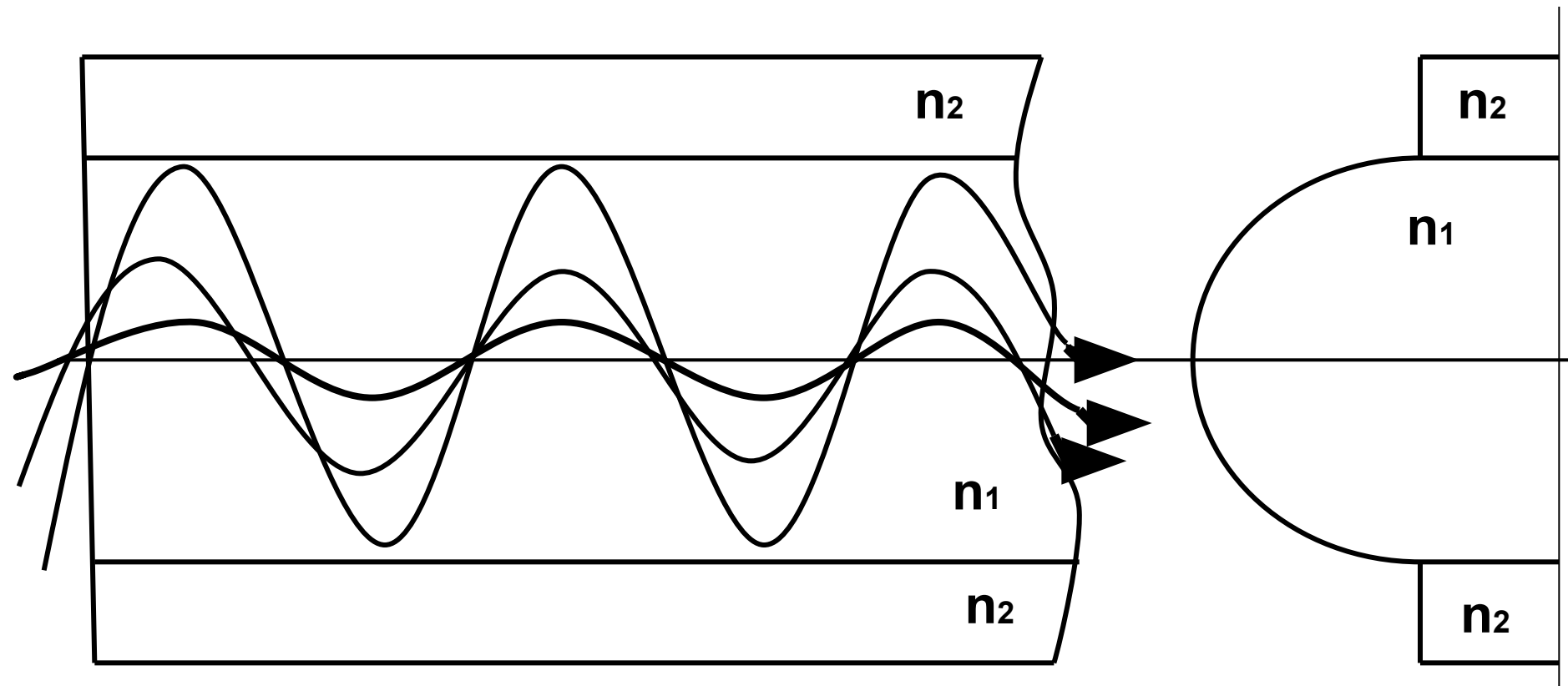
градиентным профилями
показателя преломления
(ППП)



Оптические волокна со СППГ



Оптические волокна с ГППП



Типы ОВ

ОВ делятся на :

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

Размеры: для ООМ

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

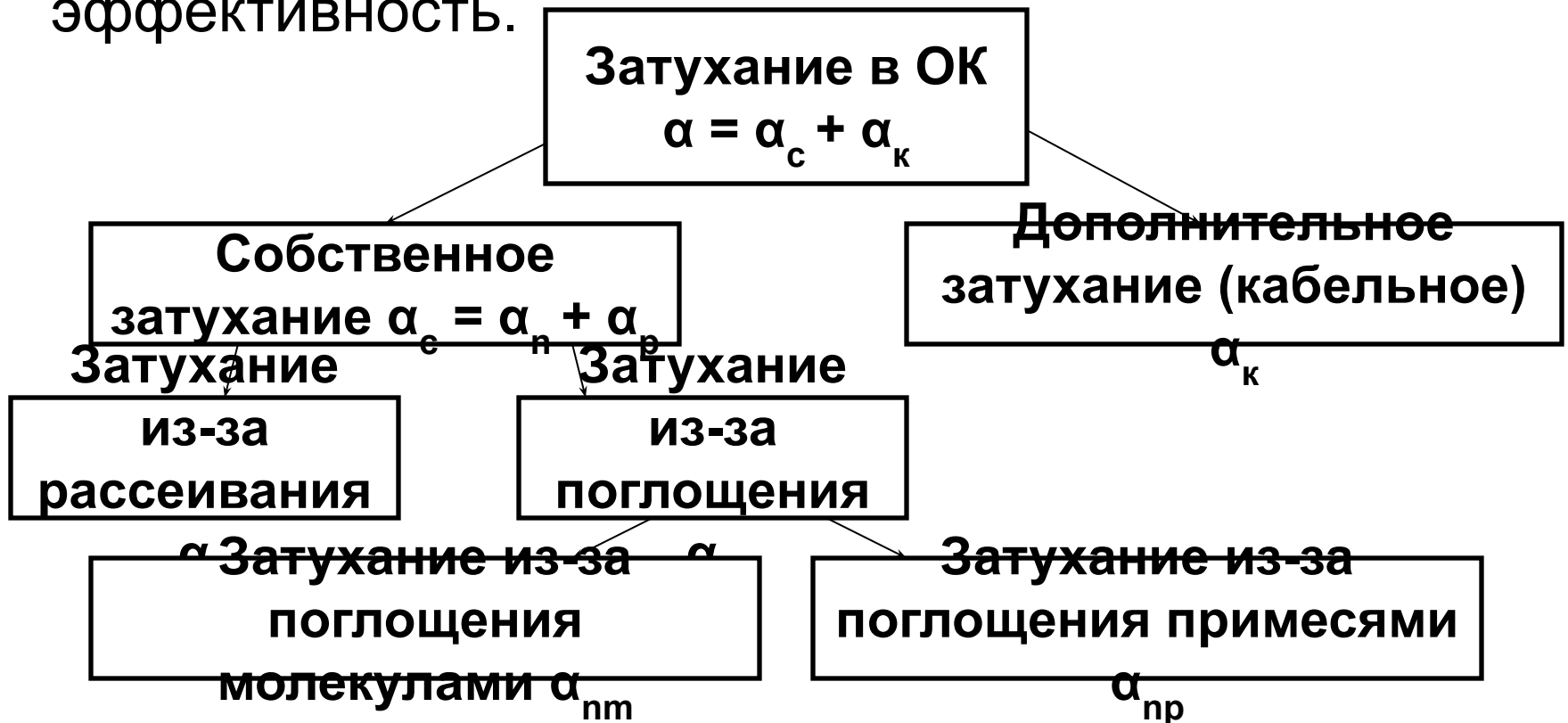
Для МОВ

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

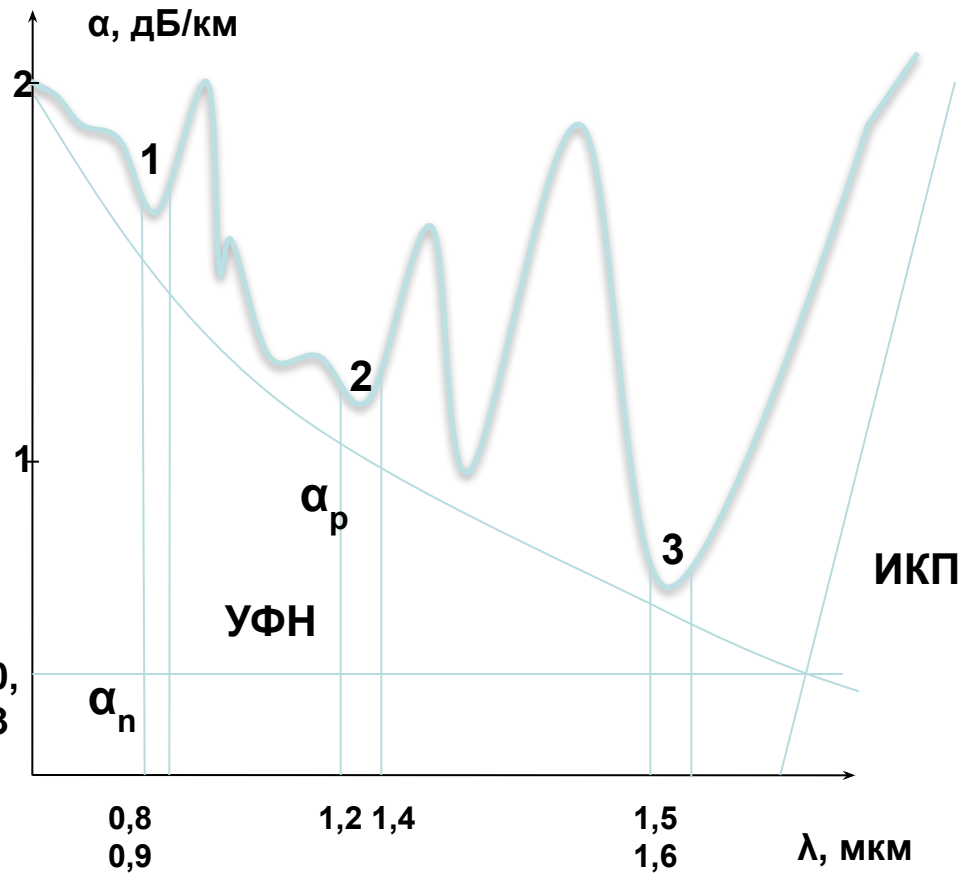
- Многомодовые ОВ могут иметь как ступенчатый, так и градиентный профиль показателя преломления.
- Одномодовые ОВ имеют ***только ступенчатый профиль*** показателя преломления (т.к. диаметр сердцевины очень мал).

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

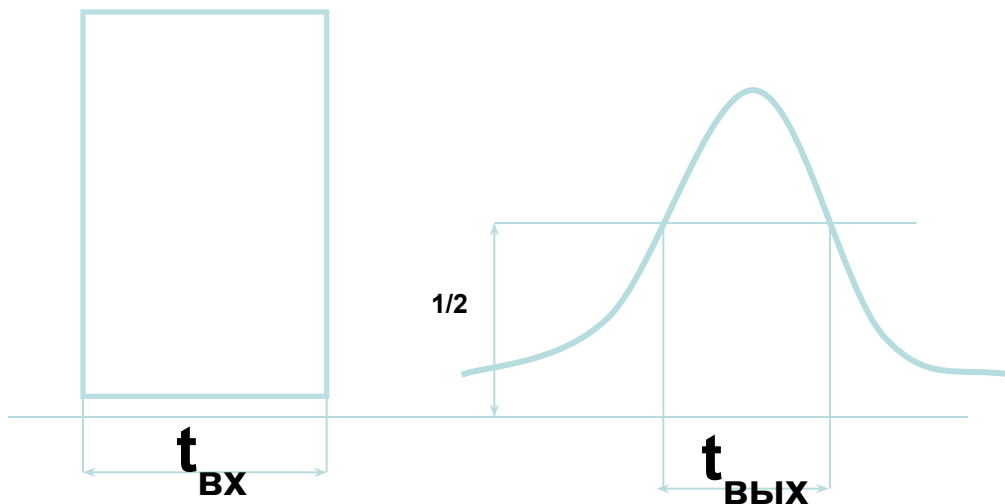


- I окно прозрачности
- II окно прозрачности
- III окно прозрачности
- I – $\lambda = 0,85\text{мкм}$, $\alpha=3\text{дБ/км}$ - МОВ
- II – $\lambda = 1,3\text{ мкм}$, $\alpha=0,7\text{дБ/км}$ -МОВ
0,34-0,36 дБ/км - ООВ
- III – $\lambda = 1,55\text{мкм}$,
 $\alpha=0,22\text{дБ/км}$ - ООВ
- IV - $\lambda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



ΔF – 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 (λ), 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):

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

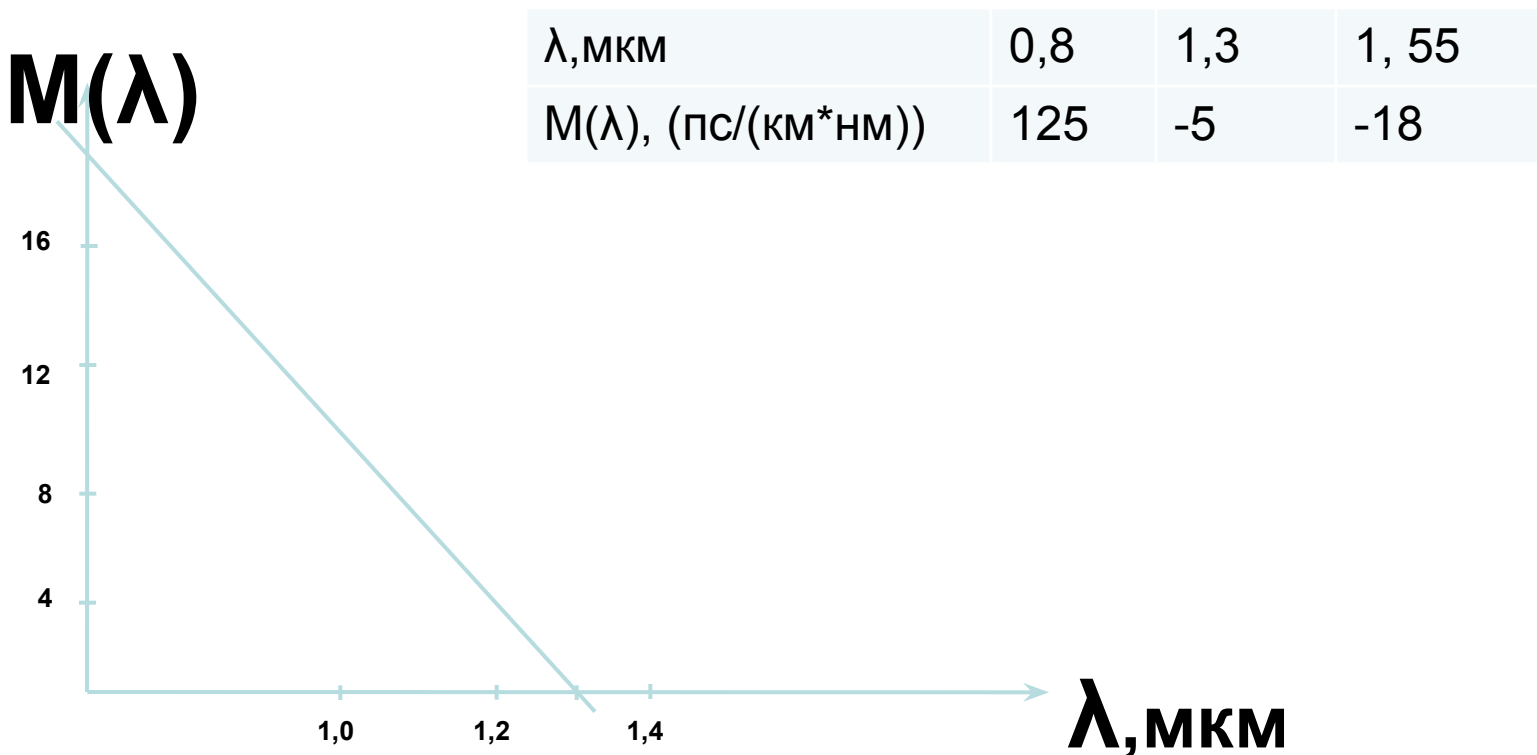
где : $\Delta \lambda$ – ширина спектра излучения источника обычно соответствует 1-3 нм для лазера и 20-40 нм для СИД;

$M(\lambda)$ – 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;

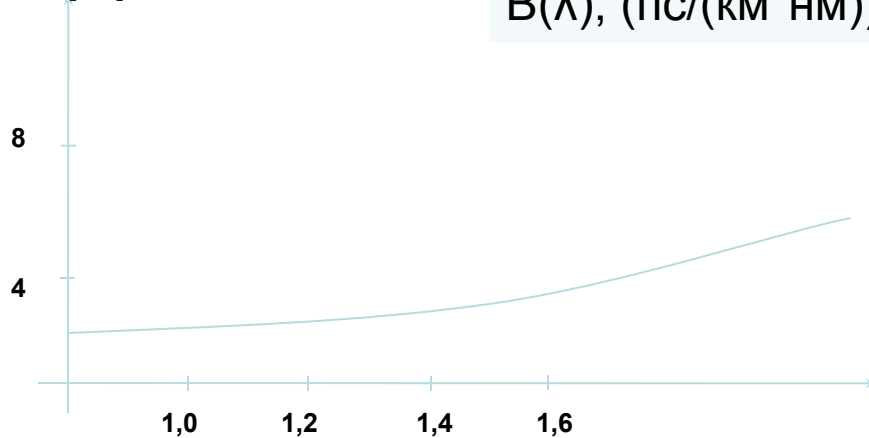
$\Delta \lambda$ – ширина спектра излучения источника, нм;

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 $\Delta\lambda$.

$V(\lambda)$



$\lambda, \text{мкм}$	0,8	1,3	1,55
$V(\lambda), (\text{пс}/(\text{км} \cdot \text{нм}))$	5	8	12

$\lambda, \text{мкм}$

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:

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