

Практическая работа № 1

АНАЛИЗ ПРОПУСКНОЙ СПОСОБНОСТИ ОПТИЧЕСКИХ ВОЛОКОН

Цель работы: рассчитать и проанализировать теоретическую и фактическую пропускную способность оптического волокна в различных диапазонах длин волн.

Краткие сведения из теории

При распространении по волокну оптические сигналы теряют свою мощность. Это происходит по двум причинам:

- поглощение света;
- рассеяние света.

Поглощение света связано со свойствами материала и с рабочей длиной волны и происходит при возбуждении в материале электронных переходов и резонансов, которые преобразуют часть энергии света в теплоту. Поскольку такие явления связаны с частотой (или длиной волны) света, то и поглощение также зависит от длины волны света. В зависимости от длины волны различают поглощения в ультрафиолетовом и инфракрасном диапазонах. Инфракрасное поглощение становится значительным на длинах волн свыше 1500 нм, а ультрафиолетовое – на длинах волн до 1400 нм. Кроме них в оптическом волокне существует также поглощение, определяемое примесями в материале волокна. Наибольший вклад в величину затухания дают примеси гидроксильной группы ОН.

Зависимость потерь в кварцевых оптических волокнах от длины волны света представлена на рисунке 1. Как видно из этого рисунка, потери ограничиваются: релеевским рассеянием, инфракрасным поглощением и резонансным поглощением ионов ОН («водяные» пики). Кривая носит иллюстративный характер, так как для разных типов волокон и разных производителей величина потерь может различаться. Наиболее сильно могут различаться потери в «водяных» пиках на $\lambda = 1290$ нм и 1383 нм. Так, в некото-

рых новых моделях одномодовых волокон отсутствует пик на $\lambda = 1383$ нм и снижена чувствительность к воздействию водорода.

Релеевское рассеяние уменьшается с увеличением длины волны ($\sim 1/\lambda^4$), а инфракрасное поглощение, наоборот, увеличивается. Абсолютный минимум потерь приходится на $\lambda = 1550$ нм. Для лучших образцов промышленных одномодовых волокон потери на этой длине волны составляют примерно 0,18 дБ/км.

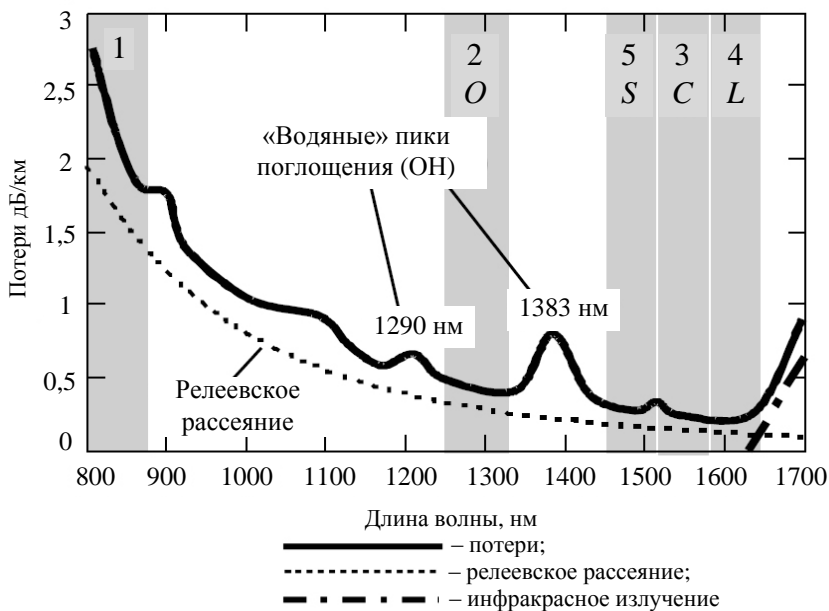


Рисунок 1 – Спектр потерь и положение окон прозрачности в кварцевых оптических волокнах

Как видно из рисунка 1, для передачи оптических сигналов может быть использован широкий участок спектра, где потери в волокнах достаточно малы. Его принято разбивать на более узкие участки – рабочие диапазоны, или окна прозрачности. Первоначально под окнами прозрачности понимались участки длин волн вблизи узких локальных минимумов в зависимости потерь от длины волны: 850 нм (1-е), 1310 нм (2-е), 1550 нм (3-е). Постепенно, с развитием технологии очистки кварцевого стекла, стала доступна вся область малых потерь от 1260 до 1675 нм. Кривая потерь теперь выглядит достаточно гладкой, и локальные минимумы на ней слабо выражены.

Первое окно прозрачности использовалось в 70-х годах в первых линиях связи на многомодовых волокнах. Диапазон длин волн этого окна про-

зрачности составляет 780–860 нм. В настоящее время из-за большой величины потерь в волокнах этот диапазон используется в основном в локальных вычислительных сетях.

Второе окно прозрачности (O), диапазон длин волн которого представлен в таблице 1, стало использоваться в 80-х годах для передачи оптических сигналов по одномодовым волокнам в линиях дальней связи. В настоящее время второе окно прозрачности используется преимущественно в городских и зонавых линиях.

Третье окно прозрачности (C) было освоено в начале 90-х годов, наиболее широко используется в магистральных линиях.

В последнее время с развитием систем с **мультиплексированием каналов по длинам волн (DWDM – Dense Wavelength Division Multiplexing)** третье и прилегающие к нему четвертое и пятое окна прозрачности вызывают повышенный интерес. В зарубежной литературе диапазоны длин волн, соответствующие этим трем окнам, получили специальные наименования: третье окно (C) – стандартный диапазон (Conventional band), четвертое окно (L) – длинноволновой диапазон (Long band), а пятое окно (S) – коротковолновой диапазон (Short band).

Четвертое окно прозрачности (L) позволяет передвинуть длинноволновую границу на 1625 нм.

Пятое окно прозрачности (S) появилось после создания волокна, в котором в результате тщательной очистки от посторонних включений потери в «водяном» пике на длине волны 1390 нм были снижены до 0,31 дБ/км, что меньше, чем во втором окне прозрачности на длине волны 1310 нм (0,35 дБ/км). Пятое окно прозрачности завершило освоение спектральной области малых потерь в волокне, простирающейся от 1260 до 1625 нм.

Таблица 1 – Спектральные диапазоны длин волн для одномодовых волокон

Обозначение диапазона	Наименование диапазона	Диапазон длин волн, нм
O	Основной	1260–1360
E	Расширенный	1360–1460
S	Коротковолновой	1460–1530
C	Стандартный	1530–1565
L	Длинноволновой	1565–1625
U	Сверхдлинноволновой	1625–1675

В связи с расширением рабочего диапазона оптических волокон Международным союзом электросвязи (МСЭ – от англ. *International Telecommunication Union*, ИТУ) были утверждены новые спектральные диапазоны в интервале от 1260 до 1675 нм (см. таблицу 1).

Американский ученый Гарри Найквист в 20-х годах прошлого века пришел к выводу, что существует некая предельная скорость передачи даже для идеальных каналов связи – их теоретическая пропускная способность. Для определения этой пропускной способности в настоящее время используют критерий Найквиста, который гласит, что число независимых импульсов в единицу времени, которые могут быть переданы через канал связи, ограничено удвоенной верхней (максимальной) частотой полосы пропускания этого канала:

$$V = 2\Delta F \cdot \log_2(M), \quad (1)$$

где ΔF – полоса пропускания канала, Гц, $\Delta F = F_{\text{в}} - F_{\text{н}}$;

$F_{\text{в}}$, $F_{\text{н}}$ – верхняя и нижняя частоты полос пропускания канала связи, Гц;

M – количество возможных уровней импульсов сигнала.

Если каждый импульс будет нести только один бит информации, т. е. иметь всего два возможных уровня ($\log_2(2) = 1$), то теоретическая пропускная способность канала связи будет определяться по формуле

$$V = 2\Delta F. \quad (2)$$

Для определения фактической пропускной способности канала связи используют формулу Шеннона, которая утверждает, что пропускная способность канала связи (теоретическая верхняя граница скорости передачи данных по каналу связи, подверженному аддитивному белому гауссовскому шуму) вычисляется по формуле

$$C = \Delta F \cdot \log_2 \left(1 + \frac{P_{\text{с}}}{P_{\text{ш}}} \right), \quad (3)$$

где $P_{\text{с}}$ – полная мощность сигнала в полосе пропускания, Вт;

$P_{\text{ш}}$ – полная шумовая мощность в полосе пропускания, Вт.

Отношение мощности сигнала к мощности шума обозначается величиной ОСШ, которая может изменяться в очень большом диапазоне и чаще всего выражается через десятичный логарифм, умноженный на 10:

$$\text{ОСШ} = 10 \cdot \lg \left(\frac{P_{\text{с}}}{P_{\text{ш}}} \right). \quad (4)$$

Единица такой логарифмической шкалы называется децибелом (дБ).

Например, ОСШ = 10 дБ означает, что мощность сигнала в 10 раз больше мощности шума, ОСШ = 20 дБ означает, что мощность сигнала в 100 раз больше мощности шума и т. д.

Для определения пропускной способности оптических волокон необходимо выполнять переход от привычных для оптических систем длин волн к частотам по известной формуле:

$$f = \frac{c}{\lambda}, \quad (5)$$

где f – частота, Гц;

c – скорость света в вакууме, $3 \cdot 10^8$ м/с;

λ – длина волны, м.

Порядок выполнения работы

1 Изучить краткие сведения из теории.

2 В соответствии с последней цифрой шифра выбрать из таблицы 2 диапазон длин волн для расчета теоретической и фактической пропускной способности оптического волокна.

Таблица 2 – Диапазоны длин волн для расчета пропускной способности оптического волокна

Последняя цифра шифра	Диапазон длин волн, нм	Последняя цифра шифра	Диапазон длин волн, нм
0	780–860 (первое окно прозрачности)	5	1460–1565 (третье и пятое окна прозрачности)
1	1260–1360 (второе окно прозрачности)	6	1460–1625 (третье, четвертое и пятое окна прозрачности)
2	1260–1460 (второе расширенное окно прозрачности)	7	1530–1675 (третье и четвертое расширенное окна прозрачности)
3	1530–1565 (третье окно прозрачности)	8	1460–1675 (третье, четвертое расширенное и пятое окна прозрачности)
4	1530–1625 (третье и четвертое окна прозрачности)	9	1260–1675 (вся область малых потерь)

3 В соответствии с первой цифрой шифра выбрать из таблицы 3 значение параметра ОСШ. В соответствии с последней цифрой шифра выбрать из таблицы 3 количество уровней сигнала (M).

4 Используя формулы (1) и (2), рассчитать теоретическую пропускную способность оптического волокна в заданном диапазоне длин волн.

5 Используя формулы (3) и (4), рассчитать фактическую пропускную способность оптического волокна в заданном диапазоне длин волн с учетом наличия в канале связи белого гауссовского шума.

Таблица 3 – ОСШ и количество уровней импульсов оптического сигнала для расчета пропускной способности оптического волокна

Первая цифра шифра	ОСШ, дБ	Последняя цифра шифра	Количество уровней
0	10	0	2
1	15	1	4
2	20	2	32
3	24	3	16
4	28	4	8
5	30	5	8
6	32	6	32
7	35	7	16
8	37	8	4
9	40	9	2

6 Построить график зависимости фактической пропускной способности оптического волокна в заданном диапазоне длин волн от величины ОСШ для всех предложенных в таблице 3 значений.

7 Определить эффективное количество возможных уровней импульсов оптического сигнала, приравняв теоретическую пропускную способность оптического волокна в заданном диапазоне длин волн к фактической (формулы (1) и (3)):

$$V = C;$$

$$2\Delta F \cdot \log_2(M) = \Delta F \cdot \log_2\left(1 + \frac{P_c}{P_{ш}}\right);$$

$$M = ?$$

8 Сравнить полученные результаты расчетов теоретической и фактической пропускной способности оптического волокна и сделать выводы.

Содержание отчета

- 1 Цель работы.
- 2 Исходные данные для выполнения практической работы.
- 3 Расчет теоретической пропускной способности оптического волокна.
- 4 Расчет фактической пропускной способности оптического волокна.
- 5 График зависимости фактической пропускной способности оптического волокна в заданном диапазоне длин волн от величины ОСШ.

6 Расчет эффективного количества возможных уровней импульсов оптического сигнала.

7 Вывод по работе.

Контрольные вопросы

1 Причины затухания в оптоволокне.

2 Что такое Релеевское рассеяние?

3 Окна прозрачности.

4 Критерий Найквиста.

5 Формула Шеннона.