

## 1.3. СВОЙСТВА СВЕТОВОДА, ОСНОВАННЫЕ НА ЗАКОНАХ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ПОЛЯ

### 1.3.1 Волновая трактовка световых процессов. Классы волн

Волны подразделяются на классы и типы.

На уровне электромагнитного взаимодействия с молекулами учитывается явление электрической поляризации, пространственные электрические  $E$  и магнитные  $H$  поля. Они допускают колебания соответствующих векторов ( $E$ ,  $H$ ) только в определённых плоскостях.

Волноведущую систему можно представить идеальным цилиндром с продольной осью  $z$ , а оси  $x$  и  $y$  образуют поперечную ( $xy$ ), горизонтальную ( $xz$ ) и вертикальную ( $yz$ ) плоскости. В этой системе выделяют 4 класса волн по признаку отсутствия либо наличия продольных составляющих  $E_z$  и  $H_z$  (рисунок 1.7).

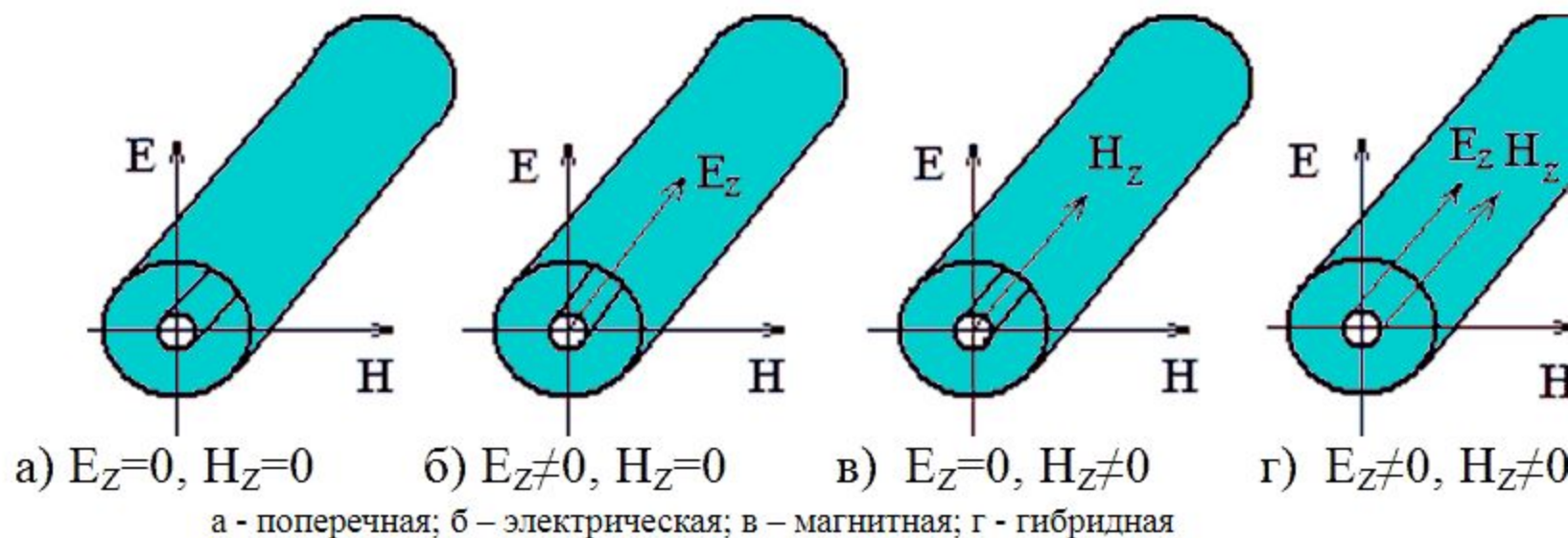


Рисунок 1.7 – Классы волн

1. При  $E_z=0$  и  $H_z \neq 0$  направляемую волну называют поперечной электромагнитной волной или Т-волной (Т – первая буква латинского слова transverses – поперечный). В



# Линии передачи

- **Устройства, в которых происходит образование и распространение направляемых электромагнитных волн называют линиями передачи.**
- **Выделяют 2 основные группы линий передач:**
  - **Открытые линии передачи** – в них поле не экранировано снаружи и частично существует в пространстве, окружающем линию.
  - **Волноводные (закрытые) линии передачи** – имеют одну или несколько проводящих поверхностей с поперечным сечением в виде замкнутого проводящего контура, охватывающего область распространения электромагнитной волны. Поле в волноводе полностью экранировано его внешней оболочкой.

<http://foos.sfedu.ru/ogl.html> оптические линии связи

По режиму работы ЛП бывают с *бегущей* или *стоячей* волнами. Чтобы получить режим бегущей волны, надо сопротивление нагрузки и волновое (характеристическое) сопротивление линии сделать равными, т.е. надо согласовать линию с нагрузкой ( $RH = ZЛ$ ).

На СВЧ режим чисто бегущей волны при коэффициенте бегущей волны (КБВ), равном единице, получить обычно невозможно. Практически очень хорошо, если  $КБВ = 0,8 \dots 0,9$ . Ухудшение работы линии при этом незначительно. Во многих случаях довольствуются величиной  $КБВ = 0,5-0,7$ .

Распространяемые по волноводу электромагнитные волны условно можно разделить на два основных типа:

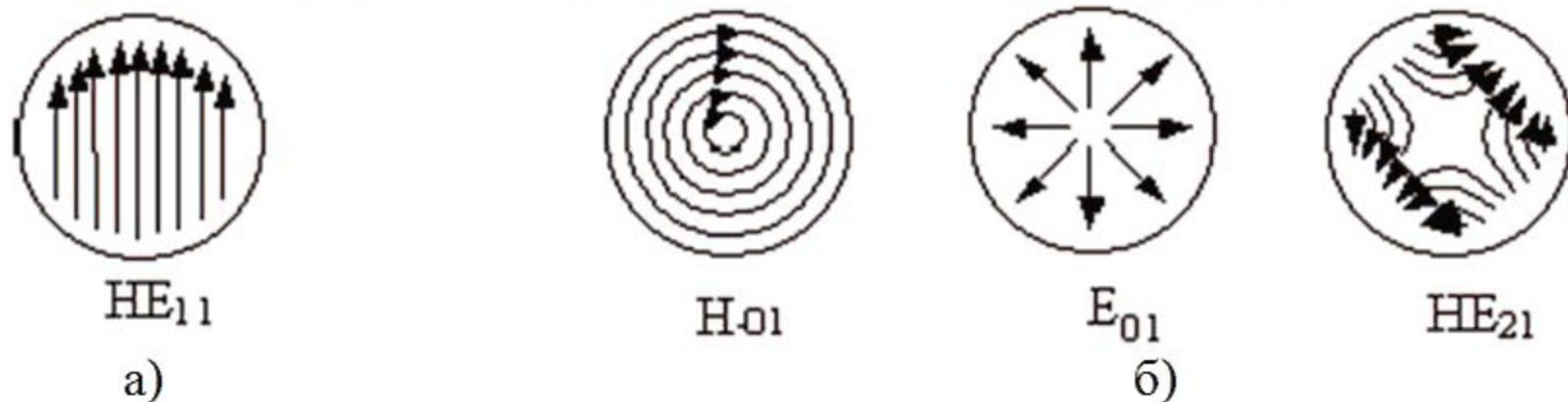
**Поперечно-электрические (магнитные) волны** обозначаемые условно **TE** (символ **T** — обозначает поперечные, символ **E** — электрические), либо **H** — волны.

**Поперечно-магнитные (электрические) волны** обозначаемые условно **TM** либо **E** — волны.

Каждый тип волны обозначается соответствующей буквой с индексом из двух цифр (**m**, показывающим число стоячих полуволн вдоль **большой** (**m**) и **меньшей** (**n**) сторон поперечного сечения волновода. Таким образом, по названию волны можно определить

### 1.3.3 Структура поля

Как мы убедились, вдоль круглого неоднородного диэлектрического световода с осесимметричным распределением  $\varepsilon$  в сердцевине возможно распространение дискретного числа различных по структуре поля типов колебаний (мод) (рисунок 1.9).



а – мода самого низкого порядка; б – первый ряд мод более высоких порядков

Рисунок 1.9 – Картины векторов поперечного электрического поля в поперечном сечении сердцевинны ступенчатого волоконного световода для четырёх мод самых низких порядков

Они отличаются кроме числа вариаций поля по азимуту и радиусу ещё и соотношением между продольными компонентами  $E_z$  и  $H_z$ .

### 1.3.4 Оптические параметры световода

Основными электродинамическими характеристиками регулярного световода при небольшом числе распространяющихся мод являются:

- дисперсионные характеристики;
- характеристики распределения полей.

На рисунке 1.10. представлены результаты расчётов зависимости  $c/v_\phi$  ( $c$  – скорость света,  $v_\phi$  – фазовая скорость световой волны) основной и нескольких высших мод от нормированной частоты  $V$ .

радиальные (число полных изменений поля по диаметру) (рисунок 1.8).

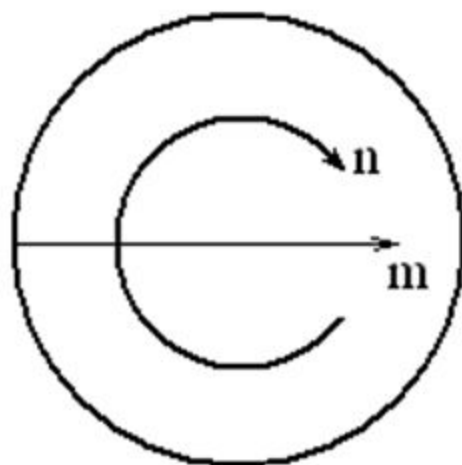


Рисунок 1.8 – Пояснение к понятию «тип волны»

Оказывается, что в ВС существуют только два типа волн  $HE_{nm}$  и  $EH_{nm}$ .

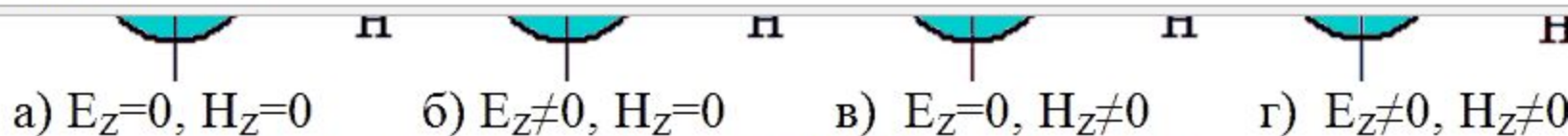
При  $n=0$  имеем симметричные моды  $E_{0m}$  и  $H_{0m}$ .

При  $n \geq 1$  имеем несимметричные (гибридные) моды  $HE_{nm}$  и  $EH_{nm}$ .

Часть внеапертурных лучей распространяется в оболочке, соответствующие им моды называют *оболочечными*. Они играют определённую роль в улучшении характеристик световодов. Чем меньше диаметр сердцевины  $d_c$ , тем меньше сечение светового потока, поступающего в оптическое волокно, тем меньше различных типов колебаний (обусловленных множеством решений уравнений Максвелла), или мод, возникает в нём.

В ОМ волокноном световоде поддерживается только одна гибридная мода  $HE_{11}$ , называемая *основной модой*. В ММ волоконном световоде поддерживаются различные, как гибридные моды так и Е- и Н- моды.

Не все моды указанных наборов можно реализовать. Чтобы понять, какие моды могут возникнуть, нужно провести достаточно сложный и кропотливый анализ. Сопоставляя волновую теорию с геометрической оптикой, следует отметить, что симметричные моды  $E_{0m}$  и  $H_{0m}$  соответствуют *меридиональным* лучам, несимметричные (смешанные) моды  $HE_{nm}$  и  $EH_{nm}$  – *косым* лучам.



а - поперечная; б - электрическая; в - магнитная; г - гибридная

Рисунок 1.7 – Классы волн

1. При  $E_z=0$  и  $H_z \neq 0$  направляемую волну называют поперечной электромагнитной волной или Т-волной (Т – первая буква латинского слова transverses – поперечный). В поперечной электромагнитной волне векторы напряжённости электрического и магнитных полей лежат в плоскости, перпендикулярной направлению распространения. В диэлектрическом волноводе поперечная электромагнитная волна распространяться не может.
2. При  $E_z \neq 0$  и  $H_z=0$  направляемую волну называют электрической или Е-волной. Электрическая волна – это электромагнитная волна, вектор напряжённости электрического поля которой имеет поперечную и продольную составляющие, а вектор напряжённости магнитного поля лежит в плоскости, перпендикулярной направлению распространения.
3. При  $E_z=0$  и  $H_z \neq 0$  направляемую волну называют магнитной или Н-волной. Магнитная волна – это электромагнитная волна, вектор напряжённости магнитного поля которой имеет поперечную и продольную составляющие, а вектор напряжённости электрического поля лежит в плоскости, перпендикулярной направлению распространения.
4. При  $E_z \neq 0$  и  $H_z \neq 0$  направляемую волну называют гибридной или смешанной. Гибридную волну называют также HE- или EH-волной. Первое обозначение используется, когда структуру поля определяет в основном составляющая  $H_z$  и направляемая волна ближе по структуре к Н-волне. Если определяющая  $E_z$ , то волну обозначают как EH-волна.  
В гибридной волне векторы электрического и магнитного полей имеют отличные от нуля поперечные и продольные составляющие.

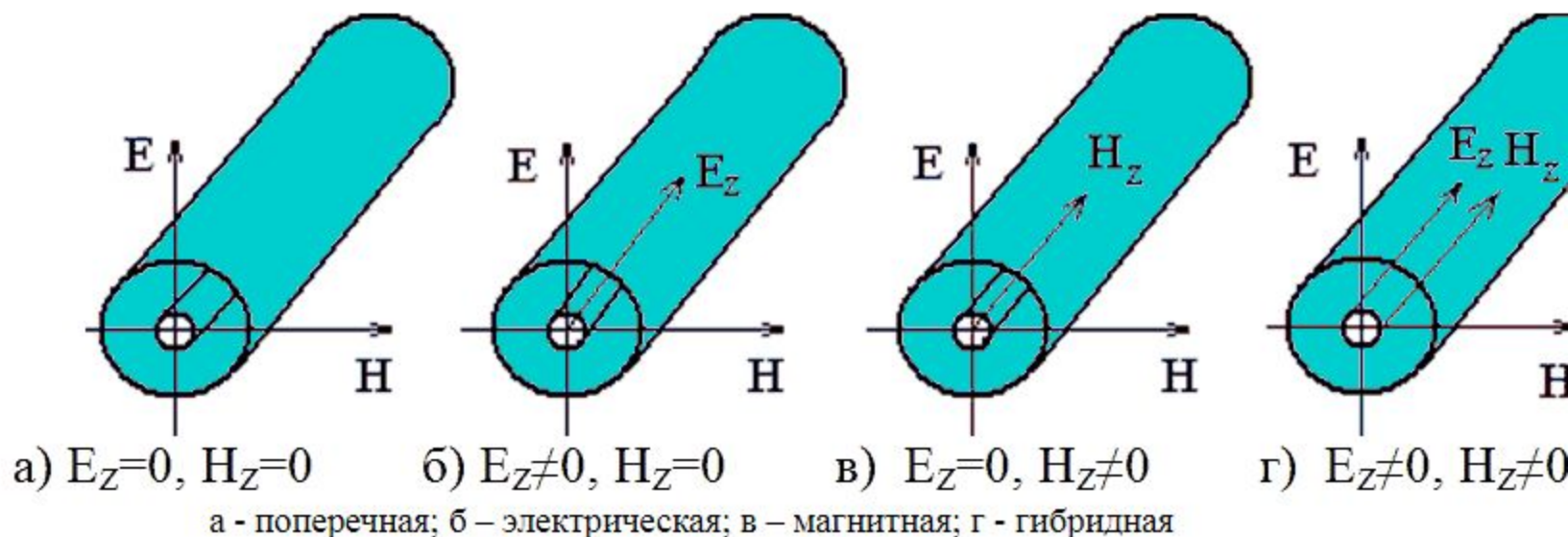


Рисунок 1.7 – Классы волн

1. При  $E_z=0$  и  $H_z \neq 0$  направляемую волну называют поперечной электромагнитной волной или Т-волной (Т – первая буква латинского слова transverses – поперечный). В поперечной электромагнитной волне векторы напряжённости электрического и магнитных полей лежат в плоскости, перпендикулярной направлению распространения. В диэлектрическом волноводе поперечная электромагнитная волна распространяться не может.
2. При  $E_z \neq 0$  и  $H_z=0$  направляемую волну называют электрической или Е-волной. Электрическая волна – это электромагнитная волна, вектор напряжённости электрического поля которой имеет поперечную и продольную составляющие, а вектор напряжённости магнитного поля лежит в плоскости, перпендикулярной направлению распространения.
3. При  $E_z=0$  и  $H_z \neq 0$  направляемую волну называют магнитной или Н-волной. Магнитная волна – это электромагнитная волна, вектор напряжённости магнитного поля которой имеет поперечную и продольную составляющие, а вектор напряжённости электрического поля лежит в плоскости, перпендикулярной