

Тема 6. Локационные системы роботов

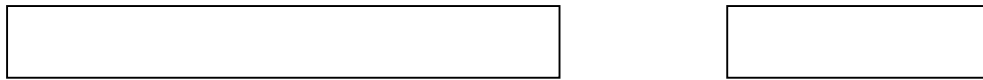
План занятия

1. Основные положения
2. Модуляция сигналов
3. Электромагнитные локационные системы
4. Акустические локационные системы
 - 4.1. Принципы распространения звука
 - 4.2. Датчики акустической локации
 - 4.3. Особенности цифровой записи звука
5. Оптические локационные системы

1. Основные положения

Локационные информационные системы (ЛС) относятся к устройствам бесконтактного действия и реализуют бионическую функцию **слуха**. Информативным параметром этих систем является модулированная волна различной физической природы, характеристики которой определяются интегральными свойствами среды распространения. В зависимости от пространственно-временных свойств среды различают **потенциальные** (например, электростатические) и **вихревые** (электромагнитные и акустические) поля.

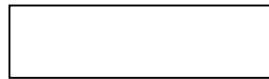
Движение волны, представляющее собой колебательный процесс распространения возмущения в некоторой среде, происходит с конечной скоростью c и описывается **волновым** и **частотным** уравнениями вида:



Классификация ЛС



Под **затуханием** будем понимать некоторую интегральную характеристику, определяющую потерю энергии колебаний в среде и приводящую к ослаблению **амплитуды** сигнала. Затухание сигнала влияет на дальность его распространения.



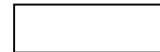
Теоретически затухание длится бесконечно долго, однако на практике колебательный процесс считают закончившимся, если его амплитуда составляет 1% от начальной, т. е. $e^{-\zeta\tau} = 0,01$, или $\tau = 4,6/\zeta$.

Ослабление сигнала зависит от расстояния l между приемником и излучателем (или объектом) и свойств среды.

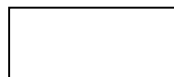
В пассивной ЛС, где волна проходит расстояние до объекта один раз



В активной ЛС дальность можно определить по времени возвращения отраженного сигнала:

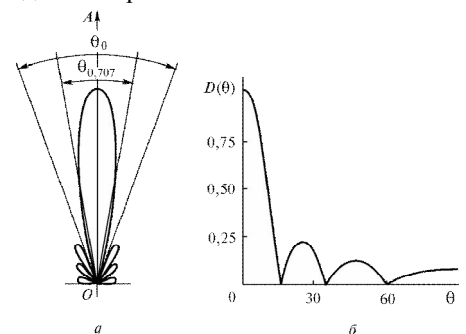


Направленность излучателя (приемника) ЛС — это свойство, заключающееся в наличии некоторой пространственной избирательности, т. е. способности излучать (принимать) волны в одних направлениях в большей степени, чем в других. Для направленного излучения необходимо, чтобы **волновой размер** излучателя был больше 1:



Направленность излучателя и приемника, а также форма диаграммы направленности зависят от их волнового размера.

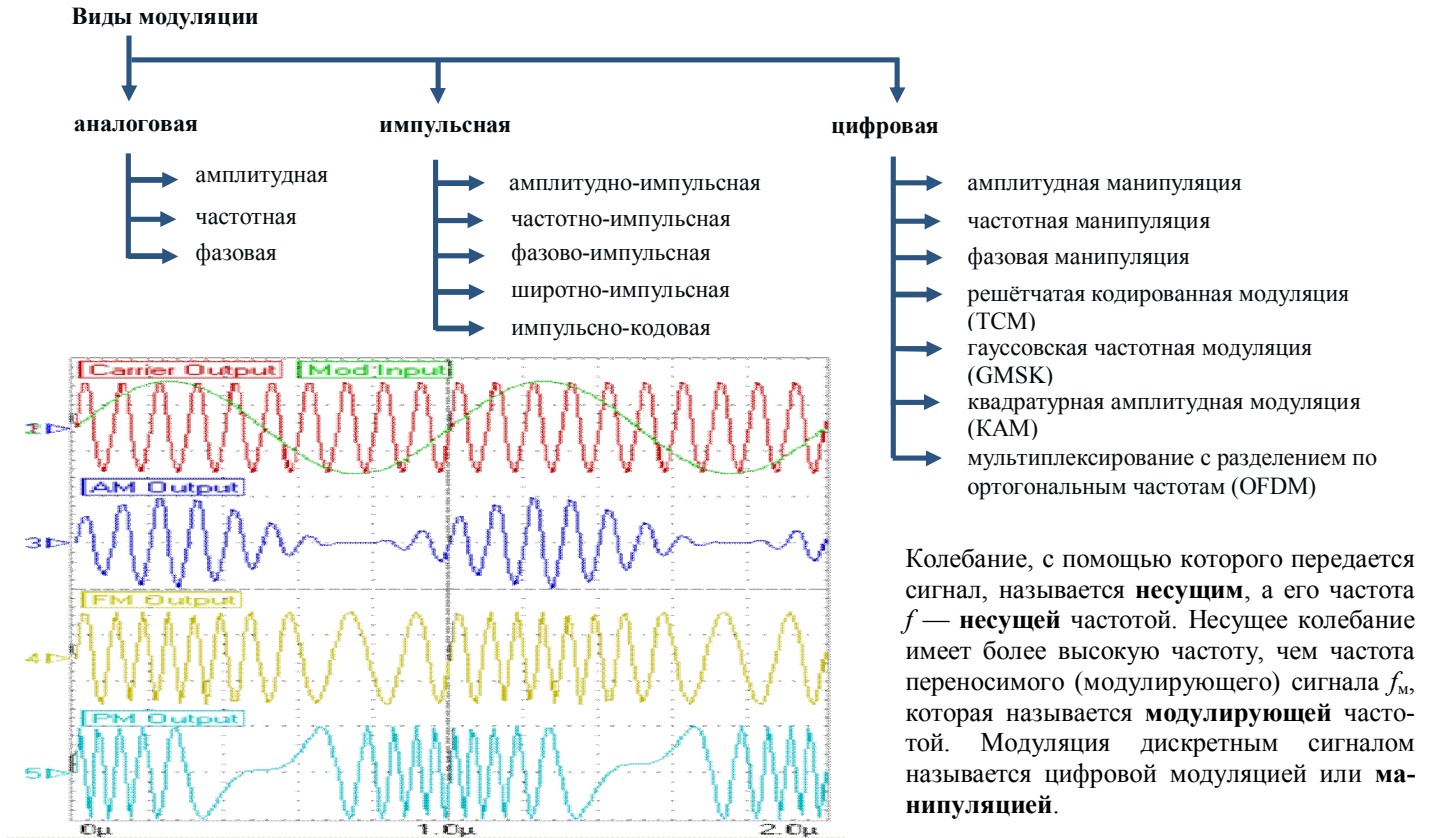
В современных ЛС, преобразователи которых состоят из большого числа элементарных диполей (антенные решетки), существует возможность управления диаграммой направленности путем соответствующего **амплитудно-фазового** распределения излучения по поверхности излучателя или приемника



Зависимость вида диаграммы направленности от амплитудного распределения мощности $P(x)$

2. Модуляция сигналов

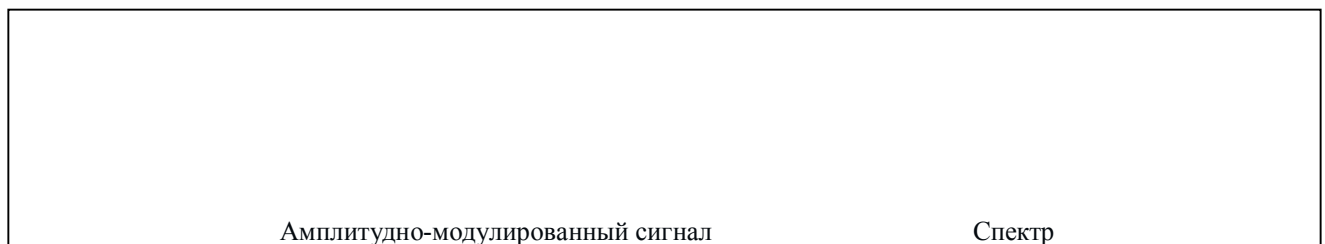
В результате модуляции **спектр** информационного сигнала переносится в область **высоких** частот.



При непрерывной (аналоговой) модуляции частоту несущего колебания f выбирают из условия:

При дискретной (импульсной и кодовой) модуляции частота следования импульсов f_n должна удовлетворять теореме Шеннона-Котельникова:

В общем случае **амплитудно-модулированный** сигнал определяется выражением: $u(t) = u_m(t) \cos \omega t$, $\frac{du_m}{dt} \ll \omega u_m$.



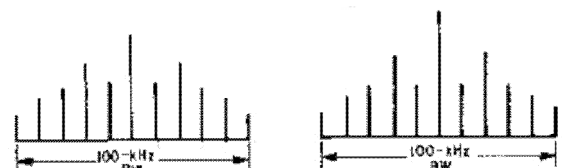
В случае модуляции несущей **частоты** гармоническим сигналом, имеем: $\omega(t) = \omega_0 + \Delta\omega \cos \omega_m t$.

Ширина спектра $\Delta\omega$ ЧМ сигнала определяется значением индекса ЧМ: $\beta = \Delta\omega / \omega_m$

Модулированный сигнал при **фазовой модуляции** колебания с несущей частотой ω_0 гармоническим сигналом $\sin \omega_m t$ имеет вид

Если модулирующий сигнал u_m гармонический, то спектры фазово- и ЧМ сигналов практически одинаковы.

Ширина спектра ФМ, также как ЧМ сигнала увеличивается с возрастанием глубины модуляции.



При **импульсной модуляции** (ИМ) переносчиком сигнала служит последовательность импульсов, каждый из которых обычно представляет собой цуг колебаний с высокой несущей частотой

Кроме амплитуды, частоты и фазы различают длительность (или ширину) импульсов τ и их скважность q

Для восстановления информации из модулированных сигналов применяют схемы **демодуляции**.

Аналоговые демодуляторы



Схема амплитудного детектора

Графическая иллюстрация принципа выпрямления

Если соотношение элементов фильтра удовлетворяет условию $10/\omega < RC \leq 1/\omega_M$, то на выходе схемы имеем

$$\Delta t = m \cos$$

Принцип действия **частотного дискриминатора** (детектора наклона) основан на пропорциональном изменении амплитуды напряжения на колебательном контуре с элементами R, L и C при вариациях мгновенных значений частоты модулированных колебаний.

Принцип преобразования сигнала в частотном дискриминаторе

Электрическая схема

3. Электромагнитные ЛС

Принцип работы **электромагнитных ЛС** основан на взаимодействии магнитного поля преобразователя с металлическими объектами. В качестве ЧЭ служат **дрессели** и **трансформаторы** различной формы.

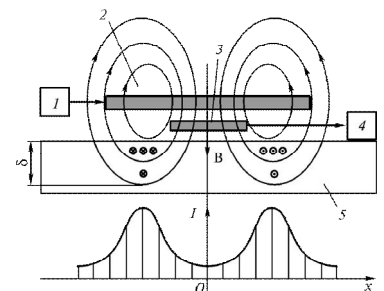
Классификация



Магнитные ЛС являются основными средствами неразрушающего контроля в литейном и прокатном производствах.

Работа **вихрековой ЛС** основана на взаимодействии внешнего магнитного поля с электромагнитным полем вихревых (замкнутых) токов, наводимых возбуждающей катушкой в любом **электропроводящем объекте**.

Вихрековые датчики



4. Акустические ЛС

по назначению

- дальнометры
- дефектоскопы / томографы
- охранные устройства

по типу ЧЭ

- пьезоэлектрические
- магнитострикционные
- электростатические

по характеру частотного спектра

- широкополосные
- резонансные

по избирательности

- интерференционные
- широкоугольные

по типу модулирующего сигнала

- непрерывные
- импульсные

4.1. Принципы распространения звука

Распространение звука в некоторой среде описывается волновыми и частотным уравнениями:



Обычно звук представляет собой сложное колебание в виде **линейчатого спектра** с основной (собственной) частотой f и кратными частотами — гармониками (**обертонами**) $2f, 3f, \dots$ и т.д. У гармонического колебания (**тона**) спектр состоит из **одной** частоты. Для непериодических колебаний (**шумов**) характерны **сплошные** спектры.

Для акустических ЛС по сравнению с электромагнитными характерна значительно меньшая скорость распространения сигналов. Для газов она составляет $0,2 \dots 1,5$ км/с, для жидкостей — $0,5 \dots 2$ км/с, для твердых сред — $2 \dots 8$ км/с. Это приводит к значительно **большей разрешающей способности** ультразвуковых методов по отношению к электромагнитным при равных частотах.

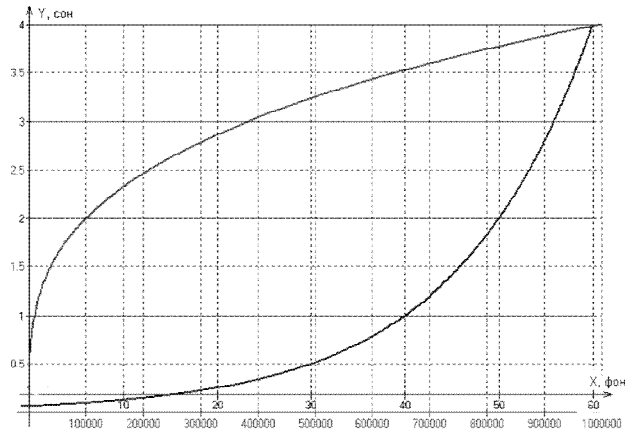
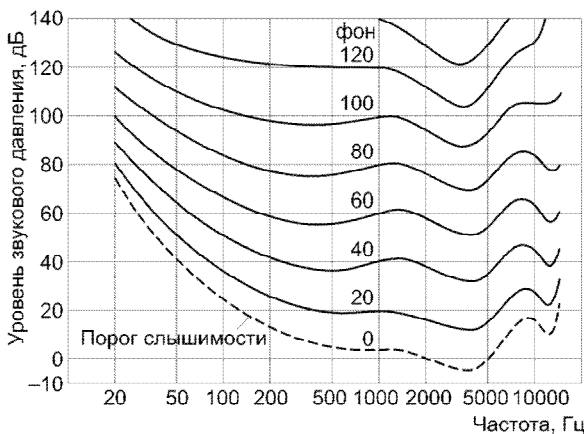
Длина звуковой волны зависит от частоты и среды распространения.

Для оценки звуковой волны используют следующие параметры: упругое смещение u ; колебательную скорость частиц среды $v = du/dt$ и акустическое давление p .

Характеристикой акустического давления в среде является **интенсивность**, или **сила звука** J , определяемая через энергию звуковой волны W : $J = \frac{pv}{2} = \frac{p^2}{2Z}$

Громкость ξ слышимых звуков одинаковой интенсивности зависит от их частот. За единицу громкости принят **сон** — громкость тона (чистого звука) частотой 1 кГц при интенсивности 40 дБ.

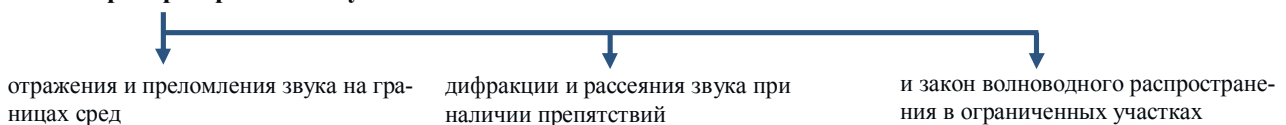
У чистого тона с частотой 1000 Гц уровень в фонах численно равен уровню в децибелах, для других частот используют поправки из таблицы или специального графика — контура равных громкостей — **изофонов**.



Экспериментальные оценки показывают, что зависимость психологической оценки громкости $\xi_{пс}$ (в **сонах**) от физической $\xi_{физ}$ (в **фонах**) описывается формулой:

$$\xi_{пс} = k(f) \cdot \xi_{физ}^{1/3}$$

Законы распространения звука

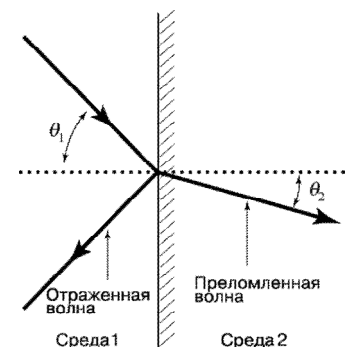


В звуковой локации наиболее важен закон Снеллиуса — закон **отражения и преломления** звуковых волн

Коэффициенты **отражения** и **прохождения** звуковой волны определяются выражениями:

$$k_{отр} = \frac{J_{отр}}{J_{пад}} = \left(\frac{\gamma_2 c_2 - \gamma_1 c_1}{\gamma_2 c_2 + \gamma_1 c_1} \right)^2 = \left(\frac{Z_2 - Z_1}{Z_1 + Z_2} \right)^2,$$

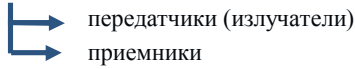
$$k_{пр} = \frac{J_{пр}}{J_{пад}} = \frac{4\gamma_1 c_1 \gamma_2 c_2}{(\gamma_1 c_1 + \gamma_2 c_2)^2} = \frac{4Z_1 Z_2}{(Z_1 + Z_2)^2},$$



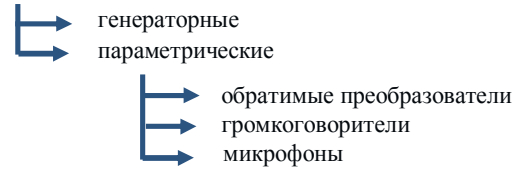
Следствием преломления волны является **рефракция**, т.е. искривление звуковых лучей в неоднородной среде, в которой скорость звука зависит от координат, градиента температуры и пр. Звуковые лучи всегда поворачивают к слою с **меньшей** скоростью звука, при этом рефракция выражена тем сильнее, чем **больше градиент** скорости звука.

4.2. Датчики акустической локации

по назначению



по принципу действия



Эффективность излучателя зависит от соотношения между его **размерами** и **длиной волны**.



Микрофоны



4.3. Особенности цифровой записи звука

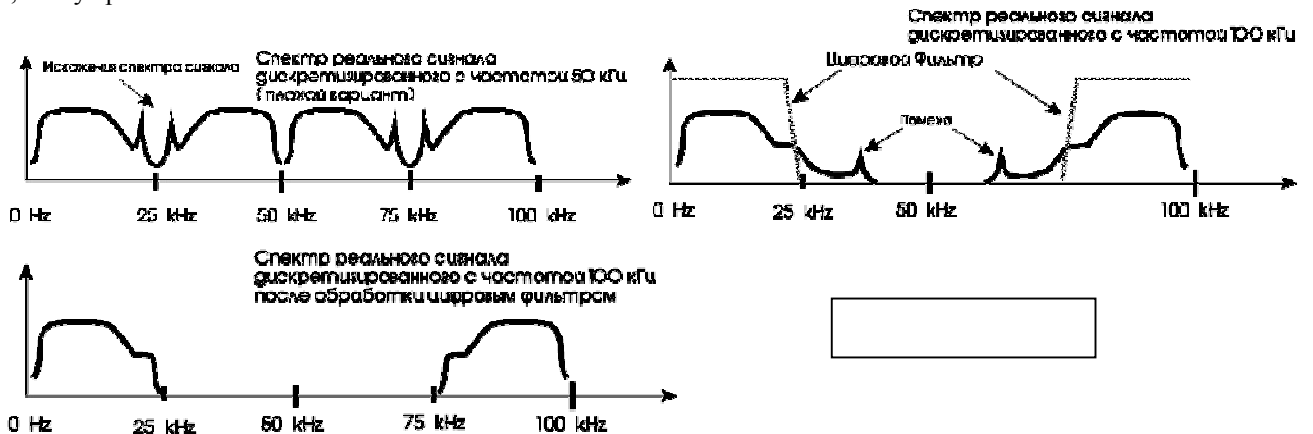
Важнейшим требованием к системам звукозаписи является необходимость обеспечения заданного **динамического диапазона** $\mathcal{L}_{\text{дин}} = 20 \lg p_{\text{max}}/p_0$ в широком спектре звуковых частот при наличии значительных акустических помех. Представление звука в **цифровой** форме требует значительное **расширение** полосы пропускания канала, т.к. спектр дискретизированного сигнала значительно шире спектра аналогового.

Частота Найквиста f_N связана с частотой дискретизации f_d выражением:

$$f_N = \frac{f_d}{2}$$



При дискретизации сигнала с частотой **больше**, чем частота Найквиста, получается звук с более **низкой** частотой, чем у оригинала.



Дискретизации аналогового сигнала на **повышенной** частоте – *oversampling* с последующей фильтрацией цифровым фильтром сужает спектр цифрового сигнала и исключает *aliasing* – наложение гармоник и искажение спектра.

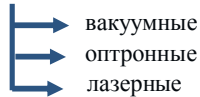
5. Оптические ЛС

Оптические явления создают электромагнитные поперечные волны, представляющие собой распространяющееся в пространстве электромагнитное поле.

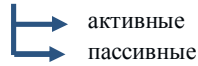
Тип излучения	λ , м	f , Гц
Радиоволны	$10^5 \dots 10^{-4}$	$3 \dots 3 \cdot 10^{12}$
Инфракрасное излучение	$(100 \dots 0,76) \cdot 10^{-6}$	$3 \cdot 10^{12} \dots 4 \cdot 10^{14}$
Видимый свет	$(0,76 \dots 0,4) \cdot 10^{-6}$	$4 \cdot 10^{14} \dots 7,5 \cdot 10^{14}$
Ультрафиолетовое излучение	$(0,4 \dots 0,01) \cdot 10^{-6}$	$7,5 \cdot 10^{14} \dots 3 \cdot 10^{16}$
Рентгеновское излучение	$(1 \dots 0,001) \cdot 10^{-8}$	$3 \cdot 10^{16} \dots 3 \cdot 10^{19}$
Гамма-излучение	$(1 \dots 0,001) \cdot 10^{-11}$	$3 \cdot 10^{19} \dots 3 \cdot 10^{22}$

Классификация оптических систем

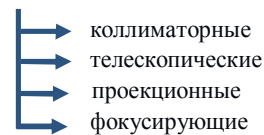
по типу ЧЭ



по принципу локации



по структуре



Излучение субъективно описывается двумя переменными: **яркостью** (амплитудой сигнала) и **цветом** (длиной волны). Коэффициентом монохроматичности называется выражение

$$\frac{\Delta f}{f}$$

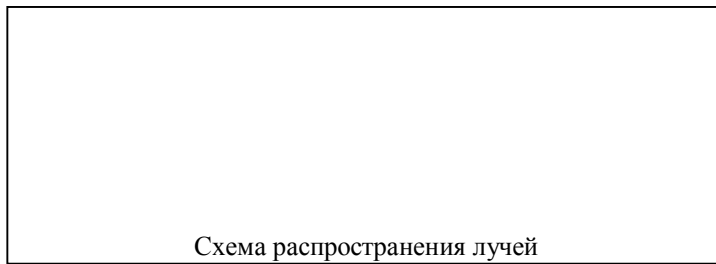
где Δf — ширина спектра излучения.

Основные законы геометрической оптики

Теоретическую основу геометрической оптики составляют:

- закон взаимной независимости световых лучей;
- принцип наименьшего времени (принцип Ферма).

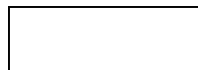
Частными случаями принципа Ферма можно рассматривать законы отражения и преломления света:



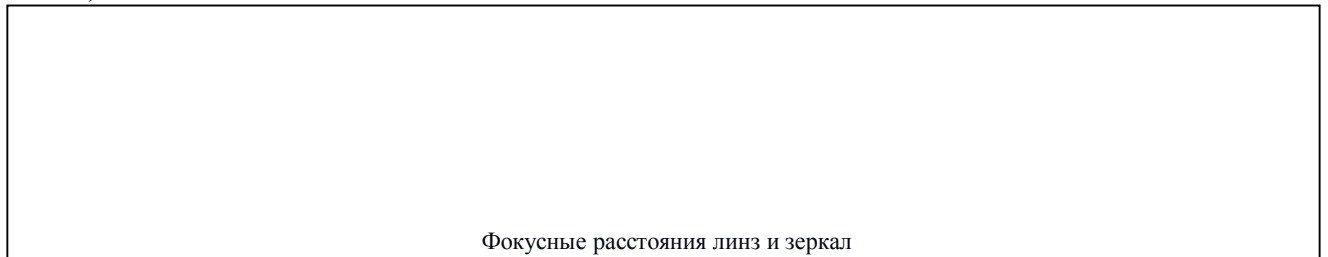
Зависимости для определения скорости распространения и длины световых волн в среде имеют следующий вид:



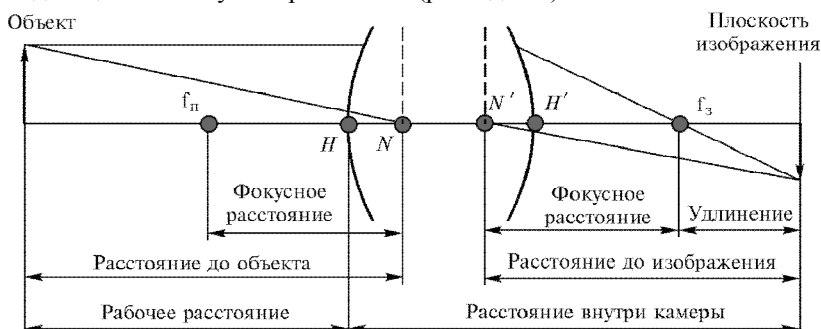
отношение потока отраженного света к потоку падающего света называется **коэффициентом отражения** $k_{отр}$



Совокупность оптических деталей (линз, зеркал, призм и т. д.), образующих изображение предметов на фотоприемнике, называется **оптической системой**.



Все лучи, параллельные оптической оси сферической поверхности раздела, преломляются так, что сходятся в одной точке, называемой **фокальной**, или **фокусом**. **Сопряженное фокусное расстояние** более точная характеристика. Оно больше фокусного расстояния и учитывает тот факт, что объект находится не в бесконечности и лучи, падающие на линзу непараллельны (расходятся).



Формула тонкой линзы (закон Барроу):

$$\frac{1}{x_0} + \frac{1}{x_i} = \frac{1}{f}$$

где x_0 — расстояние до объекта, x_i — расстояние до изображения.

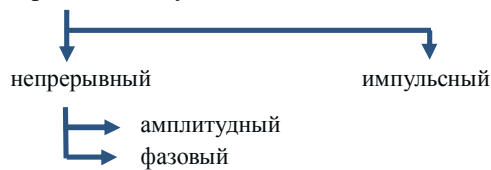
Линза содержит две поверхности раздела сред и имеет два фокуса: **передний** f_1 (со стороны пространства предметов) и **задний** f_2 (со стороны пространства изображений). В ней выделяют две **главные** точки (переднюю H и заднюю H'), а также переднюю N и заднюю N' **узловые** точки.

Лазер (оптический квантовый генератор) — устройство, преобразующее энергию накачки в энергию когерентного, монохроматического, поляризованного и узконаправленного потока излучения.

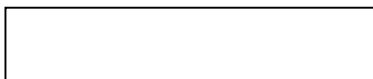
Основные типы



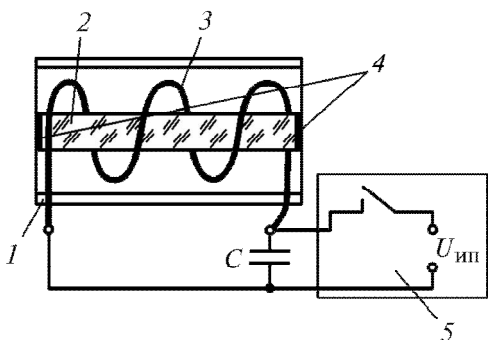
Принцип модуляции



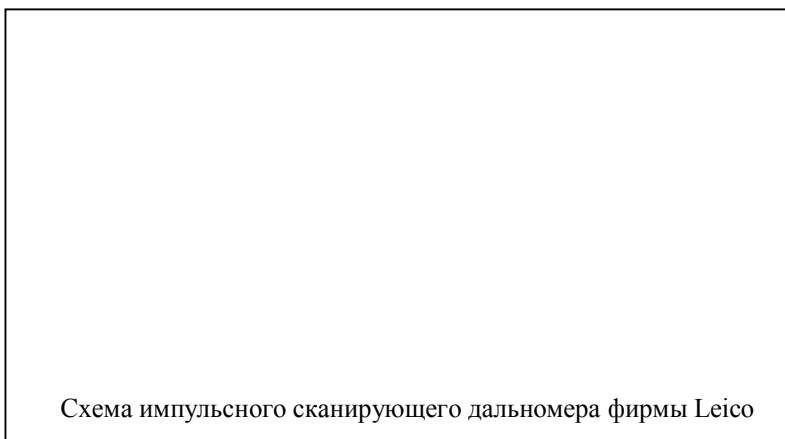
Лазер обладает очень узкой диаграммой направленности θ :



где $k_Y = 1,22$ – коэффициент, характеризующий распределение интенсивности излучения по сечению пучка, d_0 – апертура (диаметр) пучка.



Рубиновый лазер: 1 — корпус; 2 — активная среда; 3 — оптический генератор; 4 — зеркальные слои (один полупрозрачный); 5 — источник энергии.

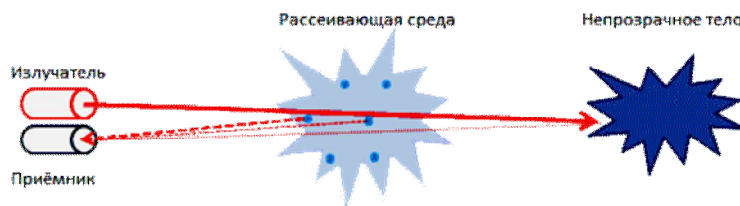


Сканирующие **лидары** формируют двумерную или трёхмерную картину окружающего пространства. Принцип определения дальности основан на измерении временного интервала τ между приемным и опорным импульсами:



Здесь x_0 – дальность, c – скорость света.

Некоторые характеристики лидаров



Расстояние до цели	1 м	10 м	100 м	1 км	10 км	100 км
Время отклика	6.7 нс	67 нс	0.67 мкс	6.7 мкс	67 мкс	0.67 мс