

# Акустические локационные системы

- Ультразвуком называются упругие колебания и волны, частота которых превышает 15 кГц. Таким образом, АЛС в основном работают в ультразвуковом диапазоне.
- До недавнего времени считалось, что ультразвук редко встречается в природе, однако исследования последних лет показали, что наш мир — это мир звуков высокой частоты. Его источниками являются как живые существа, так и природные источники: леса, горы, молнии, ветер. Интенсивность излучателей ультразвука варьируется в широких пределах.

Акустические локационные системы (АЛС) классифицируют по пяти основным признакам:

- 1) по назначению — дальномеры, охранные устройства и системы безопасности, дефектоскопы и томографы;
- 2) по типу первичного преобразователя — пьезоэлектрические, магнитострикционные и электростатические;
- 3) по характеру частотного спектра сигнала — широкополосные и резонансные;
- 4) по типу модулирующего воздействия — непрерывные и импульсные;
- 5) по избирательности — интерференционные и с широкой диаграммой направленности.

# Мехатроника

- В робототехнике и мехатронике под АЛС понимают совокупность акустических датчиков и средств первичной обработки информации, предназначенных для определения геометрических и физических характеристик объектов в зоне контроля, а также их ориентации относительно выбранной системы координат.

# Робототехника

- В робототехнике локационные системы очувствления обычно реализуют в соответствии с концепцией «очувствленная рука», при этом АЛС включают в контур управления роботом, а акустические датчики монтируют на каждом звене кинематической цепи.

# Характеристики звука

- распространение звука в некоторой среде описывается волновыми уравнениями

$$\frac{\partial^2 u}{\partial r^2} = \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2 u}{\partial t^2}; \quad \frac{\partial^2 p}{\partial r^2} = \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2 p}{\partial t^2}; \quad \frac{\partial^2 \gamma}{\partial r^2} = \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2 \gamma}{\partial t^2},$$

- где  $u$  — амплитуда волны, или смещение частиц среды;  $r, c$  — соответственно дальность распространения и скорость волны;  $p, \rho$  — давление и плотность среды.

# Частотное уравнение

Частотное уравнение для звука имеет тот же вид, что и для других волновых процессов. Оно определяет длину волны  $\lambda$  гармонического колебания (тона), распространяющегося со скоростью  $c$ :

$$\lambda = \frac{c}{f}.$$

# Границы частот звуковых волн

Нижняя граничная частота  $f_{\text{Н}}$  ультразвука, отделяющая ее от области слышимого звука, определяется субъективными свойствами человеческого слуха и является условной (обычно принимают  $f_{\text{Н}} = 20$  кГц). Верхняя граничная частота  $f_{\text{В}}$  ультразвука обусловлена физической природой упругих волн, которые могут распространяться лишь при условии  $\lambda \gg \lambda_{\text{ЭКВ}}$ , где  $\lambda_{\text{ЭКВ}}$  - длина свободного пробега молекул в газах или межатомное расстояние в жидкостях и твердых телах.

# Границы частот звуковых волн

Следовательно,

$$f_{\text{В}} = \frac{1}{d_{\text{ЭКВ}}}$$

Для газов при нормальном давлении  $f_{\text{В}} = 10^9$  Гц, а для жидкостей и твердых тел достигает  $10^{12} \dots 10^{13}$  Гц.

В зависимости от длины волны ультразвук обладает специфическими особенностями передачи и распространения, поэтому область ультразвуковых частот удобно разделить на три диапазона, (Гц):

$1,5 \cdot 10^4 \dots 10^5$  - низкие частоты,

$10^5 \dots 10^7$  - средние частоты,

$10^5 \dots 10^7$  - высокие частоты.

Частоты от  $10^7$  до  $10^{13}$  Гц называют гиперзвуковыми.



# Скорость распространения

Для АЛС по сравнению с ЭЛС характерна значительно меньшая (на несколько порядков) скорость распространения сигналов. Для газов она составляет 0,2... 1,5 км/с, для жидкостей — 0,5...2 км/с, для твердых сред — 2...8 км/с. Такие малые скорости, а, следовательно, малые длины волн намного повышают разрешающую способность ультразвуковых методов по отношению к электромагнитным методам при равных частотах.

# Разрешающая способность

Длина звуковой волны зависит от частоты и среды распространения. Так, для воздуха в самой низкочастотной области значения разрешающая способность не превышает нескольких сантиметров. В случае высоких частот значения разрешающей способности составляют 0,34...34 мкм, в воде 1,5... 150 мкм и в стали 5...500 мкм.

# Параметры звуковой волны

Для оценки звуковой волны используют следующие параметры:

$u$  - упругое смещение,

$v = \frac{du}{dt}$  –колебательная скорость,

$p$  – акустическое давление.

Колебательную скорость следует отличать от скорости распространения волны  $c$  (скорости звука).

Так, для плоской звуковой волны

$v = \frac{p}{\rho c}$ , а следовательно,  $\frac{p}{c} = \rho v$ .

# Параметры звуковой волны

В свою очередь, характеристикой акустического давления в среде является интенсивность, или сила звука, определяемая через энергию звуковой волны. Интенсивностью  $J$  называется величина, которая равна средней по времени энергии, переносимой звуковой волной через перпендикулярную направлению ее распространения единичную площадку в единицу времени.

Для плоской синусоидальной бегущей волны

$$J = \frac{p v}{2} = \frac{p^2}{2 \gamma c} = \frac{p^2}{2 Z} .$$

# Параметры звуковой волны

Параметр  $Z = \rho c$  получил название характеристического импеданса среды. Зависимость интенсивности от акустического импеданса приводит к тому, что в более плотных средах меньшие звуковые давления вызывают большую интенсивность звука. В частности, при излучении в воду можно получить ту же интенсивность при давлении в 60 раз меньшем, чем при излучении в воздух.

# Параметры звуковой волны

Громкость  $\xi$  слышимых звуков одинаковой интенсивности зависит от их частот. За единицу громкости принят сон — громкость тона (чистого звука) частотой 1 кГц при интенсивности 40 дБ. Громкость звука в децибелах вычисляют по формуле

$$\xi = 20 \lg \left( \frac{p}{p_0} \right),$$

где  $p_0 = 2 \cdot 10^{-5}$  Па — минимальное давление, которое способно воспринять человеческое ухо, т. е. порог чувствительности.

# Законы распространения звука

К основным законам распространения звука относят: законы отражения и преломления звука на границах сред, законы дифракции и рассеяния звука при наличии препятствий и неоднородностей на границах и закон волнового распространения в ограниченных участках среды.

# АНАЛИЗ ВОЗМОЖНЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ

- Датчики АЛС подразделяют по двум основным признакам:
- по назначению — излучатели и приемники;
- по принципу действия — генераторные и параметрические преобразователи.



# генераторные и параметрические преобразователи

- . В излучателях генераторного типа колебания возбуждаются вследствие наличия препятствия на пути постоянного потока — струи газа или. В параметрических излучателях заданные колебания электрического напряжения или тока преобразуются в механические колебания твердого тела, которое и излучает в окружающую среду акустические волны.

# генераторные и параметрические преобразователи

- Жидкостные механические излучатели часто основываются на возбуждении колебаний твердой излучающей системы при натекании на нее струи. Такие излучатели используют в звуковом и низкочастотном ультразвуковом диапазонах. Их недостатком является невозможность получения монохроматического излучения, а также излучения звуковых сигналов строго заданной формы (спектр их сложен и определяется конструкцией и режимом работы). КПД генераторных преобразователей составляет 5. ...50 %.

# Излучатели

- Параметрические излучатели подразделяют на две группы: обратимые преобразователи и громкоговорители. Эффективность излучателя зависит от соотношения между его размерами и длиной волны. При расчетах реальных АЛС чаще всего пользуются моделями излучателей нулевого, первого, второго, ...,  $n$ -го порядка. Излучатель нулевого порядка — монополь — представляет собой пульсирующую сферу с конечным радиусом  $r$ , которая создает в окружающей среде сферические волны. При заданной частоте мощность излучения определяется объемной скоростью излучателя независимо от его размеров.

# Акустический диполь

- Еще одним простейшим излучателем является акустический диполь (излучатель первого порядка). Он представляет собой сферу, осциллирующую около положения равновесия, а его излучение не имеет сферической симметрии и характеризуется направленностью. Диаграмма направленности диполя — тело вращения в виде восьмерки. Промышленные ультразвуковые излучатели, широко применяемые в системах гидроакустической связи, подводных роботах и других подводных системах, представляют собой наборную конструкцию (пакет) из диполей.

Схемы гидроакустических излучателей с продольным (а) и поперечным (б) пьезоэффектом (стрелками показаны направления колебаний)



# Приемники звука

- Приемники звука в зависимости от частотного диапазона разделяют на две группы: параметрические ультразвуковые приемники и микрофоны. И те и другие, как правило, устроены по принципу обратимых электроакустических преобразователей. Для них характерна линейная функция преобразования, что позволяет точно воспроизводить форму возбуждающего сигнала как в режиме приема, так и излучения. Как правило, электроакустические преобразователи обладают сравнительно узкой частотной характеристикой, что позволяет применять их в мобильных системах связи. Для повышения эффективности в конструкциях датчиков используют явления резонанса.