

Министерство образования и науки Самарской области
Государственное бюджетное профессиональное образовательное учреждение Самарской области «Кинель - Черкасский сельскохозяйственный техникум»

Теоретическое занятие № 79 (2 часа)

Дисциплина: Физика

Специальность: 35.02.08. Электрификация и автоматизация сельского хозяйства

Группа: 17

Тема: Звуковые волны. Ультразвук и его применение

Цель: Получить основные понятия об ультразвуке, изучить его основные параметры

Выполните задания и вышлите готовые задания на электронную почту преподавателя.

Ход и выполнение заданий

Задание 1. Ознакомьтесь с лекционным материалом:

Звук – макроскопические волны, образованные упорядоченными малыми колебаниями вещества. Упругие волны, частотой от 16 Гц до 20 кГц вызывают у человека звуковые ощущения. Волны, с частотой меньше 16 Гц – *инфракрасные*, выше 20 кГц – *ультразвуковые*. Колебания сверхвысоких частот порядка $10^9 \dots 10^{13}$ Гц - *гетерзвуки*.

Область физики, в которой изучают звуковые явления и их связь с другими явлениями физики, называется **акустикой**. Она изучает волны с частотой от 1 до 10^{13} Гц.

Ультразвук

Ультразвук, или «неслышимый звук», представляет собой колебательный процесс, осуществляющийся в определенной среде, причем частота колебаний его выше верхней границы частот, воспринимаемых при их передаче по воздуху ухом человека. Физическая сущность ультразвука, таким образом, не отличается от физической сущности звука. Выделение его в самостоятельное понятие связано исключительно с его субъективным восприятием ухом человека. Ультразвук, наряду со звуком, является обязательным компонентом естественной звуковой среды.

Ультразвук – упругие волны с частотами приблизительно от $(1,5 - 2) \cdot 10^4$ Гц (15 – 20 кГц) до 10⁹ Гц (1 ГГц); область частотных волн от 10⁹ до 10¹² – 10¹³ Гц принято называть гиперзвуком. По частоте ультразвук удобно подразделять на 3 диапазона: ультразвук низких частот ($1,5 \cdot 10^4 - 10^5$ Гц), ультразвук средних частот ($10^5 - 10^7$ Гц), область высоких частот ультразвука ($10^7 - 10^9$ Гц). Каждый из этих диапазонов характеризуется своими специфическими особенностями генерации, приёма, распространения и применения.

По физической природе ультразвук представляет собой упругие волны, и в этом он не отличается от звука, поэтому частотная граница между звуковыми и ультразвуковыми волнами условна. Однако благодаря более высоким частотам и, следовательно, малым длинам волн, имеет место ряд особенностей распространения ультразвука.

Ввиду малой длины волны ультразвука, характер его определяется прежде всего молекулярной структурой среды. Ультразвук в газе, и в частности в воздухе, распространяется с большим затуханием. Жидкости и твёрдые тела представляют собой, как правило, хорошие проводники ультразвука, - затухание в них значительно меньше. Поэтому области использования ультразвука средних и высоких частот относятся почти исключительно к жидкостям и твёрдым телам, а в воздухе и в газах применяют ультразвук только низких частот.

Ультразвуковым волнам было найдено больше всего применения во многих областях человеческой деятельности: в промышленности, в медицине, в быту, ультразвук использовали для бурения нефтяных скважин и т.д. От искусственных источников можно получить ультразвук интенсивностью в несколько сотен Вт/см².

Ультразвуки могут издавать и воспринимать такие животные, как собаки, кошки, дельфины, муравьи, летучие мыши и др. Летучие мыши во время полёта издают короткие звуки высокого тона. В своём полёте они руководствуются отражениями этих звуков от предметов, встречающихся на пути; они могут даже ловить насекомых, руководствуясь только эхом от своей мелкой добычи. Кошки и собаки могут слышать очень высокие свистящие звуки (ультразвуки).

Ультразвук - механические колебания, находящиеся выше области частот, слышимых человеческим ухом (обычно 20 кГц). Ультразвуковые колебания перемещаются в форме волны, подобно распространению света. Однако в отличие от световых волн, которые могут распространяться в вакууме, ультразвук требует упругую среду такую как газ, жидкость или твердое тело.

Основные параметры ультразвука

Основными параметрами волны являются длина волны и период. Число циклов совершенных за одну секунду называется частотой и измеряется в Герцах (Гц). Время, требуемое чтобы совершить полный цикл, называется периодом и измеряется в секундах. Взаимосвязь между частотой и периодом волны приведено в формуле:

$$f = \frac{1}{T}, \quad (1)$$

- где f – частота, Гц,
- T – период, с

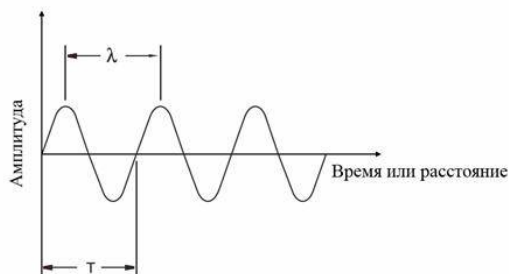


Рис. 1 – Основные параметры ультразвуковой волны

Скорость звука в идеальном упругом материале при заданной температуре и давлении является постоянной. Связь между скоростью ультразвука и длиной волны следующая:

$$\lambda = \frac{c}{f}, \quad (2)$$

- где λ – длина волны, м,
- c – скорость звука, м/с

В твердых веществах для продольных волн скорость звука

$$c_l = \sqrt{\frac{E}{\rho} \frac{1 - \mu}{(1 + \mu)(1 - 2\mu)}}, \quad (3)$$

- где c_l – скорость звука для продольных волн, м/с,
- E – модуль упругости, Па,
- μ – коэффициент Пуассона,
- ρ – плотность, кг/м³

Для поперечных волн она определяется по формуле

$$c_t = \sqrt{\frac{G}{\rho}}, \quad (4)$$

- где c_t – скорость звука для поперечных волн, м/с,
- G – модуль сдвига, Па

Дисперсия звука — зависимость фазовой скорости монохроматической звуковых волн от их частоты ω . Дисперсия скорости звука может быть обусловлена как физическим свойствами среды, так и присутствием в ней посторонних включений и наличием границ тела, в котором звуковая волна распространяется.

Разновидности ультразвуковых волн

Большинство методов ультразвукового исследования использует либо продольные, либо поперечные волны. Также существуют и другие формы распространения ультразвука, включая поверхностные волны и волны Лэмба.

Продольные ультразвуковые волны – волны, направление распространения которых совпадает с направлением смещений и скоростей частиц среды.

Поперечные ультразвуковые волны – волны, распространяющиеся в направлении, перпендикулярном к плоскости, в которой лежат направления смещений и скоростей частиц тела, то же, что и сдвиговые волны

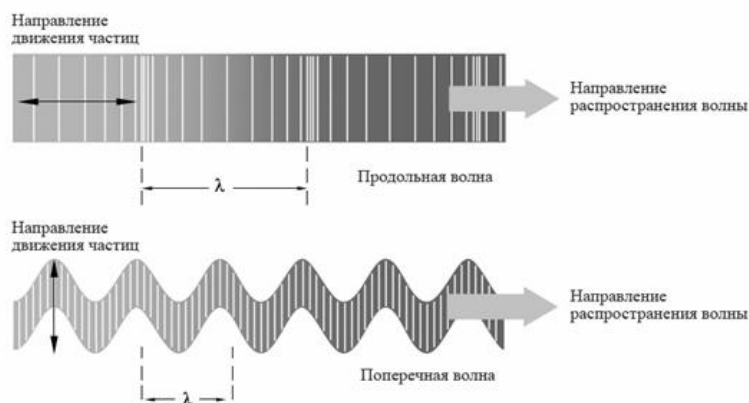


Рис. 2 – Движение частиц в продольных и поперечных ультразвуковых волнах

Поверхностные (Рэлеевские) ультразвуковые волны имеют эллиптическое движение частиц и распространяются по поверхности материала. Их скорость приблизительно составляет 90% скорости распространения поперечной волны, а их проникновение вглубь материала равно примерно одной длине волны.

Волна Лэмба — упругая волна, распространяющиеся в твёрдой пластине (слое) со свободными границами, в которой колебательное смещение частиц происходит как в направлении распространения волны, так и перпендикулярно плоскости пластины. Лэмба волны представляют собой один из типов нормальных волн в упругом волноводе – в

пластине со свободными границами. Т.к. эти волны должны удовлетворять не только уравнениям теории упругости, но и граничным условиям на поверхности пластины, картина движения в них и их свойства более сложны, чем у волн в неограниченных твёрдых телах.

Визуализация ультразвуковых волн

Интенсивность и мощность ультразвука

Интенсивность звука (сила звука) — средняя по времени энергия, переносимая звуковой волной через единичную площадку, перпендикулярную к направлению распространения волны, в единицу времени. Для периодического звука усреднение производится либо за промежуток времени большой по сравнению с периодом, либо за целое число периодов. Интенсивность ультразвука — величина, которая выражает мощность акустического поля в точке.

Для плоской синусоидальной бегущей волны интенсивность ультразвука I определяется по формуле

$$I = \frac{p v}{2} = \frac{p^2}{2 \rho c} = \frac{v^2 \rho c}{2}, \quad (5)$$

- где p — амплитуда звукового давления, Па
- v — амплитуда колебательной скорости частиц, м/с
- ρ — плотность среды, кг/м³
- c — скорость звука, м/с

В *сферической бегущей волне* интенсивность ультразвука обратно пропорциональна квадрату расстояния от источника. В *стоячей волне* $I = 0$, т. е. потока звуковой энергии в среднем нет. Интенсивность ультразвука в *гармонической плоской бегущей волне* равна плотности энергии звуковой волны, умноженной на скорость звука. Поток звуковой энергии характеризуют так называемым **вектором Умова** — вектором плотности потока энергии звуковой волны, который можно представить как произведение интенсивности ультразвука на вектор волновой нормали, т. е. единичный вектор, перпендикулярный фронту волны. Если звуковое поле представляет собой суперпозицию гармонических волн различной частоты, то для вектора средней плотности потока звуковой энергии имеет место аддитивность составляющих.

Для излучателей, создающих плоскую волну, говорят об **интенсивности излучения**, понимая под этим **удельную мощность излучателя**, т. е. излучаемую мощность звука, отнесённую к единице площади излучающей поверхности.

Интенсивность звука измеряется в системе единиц СИ в Вт/м². В ультразвуковой технике интервал изменения интенсивности ультразвука очень велик — от пороговых значений $\sim 10^{-12}$ Вт/м² до сотен кВт/м² в фокусе ультразвуковых концентраторов.

Мощность звука — энергия, передаваемая звуковой волной через рассматриваемую поверхность в единицу времени. Различают мгновенное значение мощности ультразвука и среднее за период или за длительное время. Наибольший интерес представляет среднее значение мощности ультразвука, отнесённое к единице площади, т. е. **средняя удельная мощность звука**, или интенсивность звука.

Таблица 1 - Свойства некоторых распространенных материалов

Материал	Плотность, кг/м ³	Скорость продольной волны, м/с	Скорость поперечной волны, м/с
Акрил	1180	2670	-
Воздух	0,1	330	-
Алюминий	2700	6320	3130
Латунь	8100	4430	2120
Медь	8900	4700	2260
Стекло	3600	4260	2560
Никель	8800	5630	2960
Полиамид (нейлон)	1100	2620	1080
Сталь (низколегированный сплав)	7850	5940	3250
Титан	4540	6230	3180
Вольфрам	19100	5460	2620
Вода (293К)	1000	1480	-

Затухание ультразвука

Одной из основных характеристик ультразвука является его затухание. **Затухание ультразвука** – это уменьшение амплитуды и, следовательно, интенсивности звуковой волны по мере ее распространения. Затухание ультразвука происходит из-за ряда причин. Основными из них являются:

- убывание амплитуды волны с расстоянием от источника, обусловленное формой и волновыми размерами источника;
- рассеяние ультразвука на неоднородностях среды, в результате чего уменьшается поток энергии в первоначальном направлении распространения;
- поглощение ультразвука, т.е. необратимый переход энергии звуковой волны в другие формы, в частности в тепло.

Задание 2. Проанализируйте, прочитанный материал. Ответьте на контрольные вопросы (запишите в рабочую тетрадь):

1. Какие волны называют ультразвуковыми?
2. Перечислите основные параметры ультразвуковых волн.
3. Где используют ультразвуковые волны?

Задание оформить и отправить по адресу: Ladi.Chapligina@yandex.ru с темой письма «17гр. ФИ. 20.03.2020» (ФИ – Ваша фамилия и имя)