

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 1.33

### ПОГЛОЩЕНИЕ УЛЬТРАЗВУКА В ВОЗДУХЕ

#### ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Исследовать поглощение ультразвука в воздухе.

#### ЗАДАЧИ

1. Определить зависимость интенсивности ультразвуковой волны в воздухе от расстояния между источником волны и ее приемником.
2. Определить коэффициент поглощения ультразвуковой волны в воздухе.
3. Определить форму волнового фронта ультразвуковой волны на выходе из источника волны.

#### ВВЕДЕНИЕ

Звук, в широком смысле, колебательное движение частиц упругой среды, распространяющееся в виде волн в газообразных, жидких или твердых средах. Человеческое ухо воспринимает распространяющиеся в среде упругие волны в диапазоне частот 16-20000 Гц.

В зависимости от частоты колебаний звук условно подразделяется:

- на инфразвук с частотой до 16 Гц;
- на слышимый звук с частотой от 16 Гц до 20 кГц;
- на ультразвук (УЗ) с частотой от 20 кГц до 1 ГГц;
- на гиперзвук с частотой более 1 ГГц.

Звуковые волны характеризуются частотой  $f$ , длиной волны  $\lambda$ , звуковым давлением  $p$  (основная количественная характеристика звука, переменная часть давления, возникающая при прохождении звуковой волны в среде). Энергетической характеристикой звуковых волн является интенсивность звука  $I$  (тоже, что и сила звука, средняя по времени энергия, переносимая за единицу времени звуковой волной через единичную площадку, перпендикулярную направлению распространения волны),

которая зависит от амплитуды звукового давления, а также от свойств самой среды и от формы волны (плоская, сферическая). Субъективной характеристикой звука, связанной с его интенсивностью, является громкость звука (величина, характеризующая слуховое ощущение для данного звука), зависящая от частоты и формы колебаний.

Источником звука могут быть любые явления, вызывающие местное изменение давления или механического напряжения. Широко распространены источники звука в виде колеблющихся твердых тел, например, диффузоры громкоговорителей и мембраны телефонов, струны и деки музыкальных инструментов. В УЗ диапазоне частот это пластинки и стержни из пьезоэлектрических материалов (для излучения УЗ средних и высоких частот) или магнитострикционных материалов (для излучения низкочастотного УЗ).

Если источник будет совершать колебания с частотой  $f$  (например, в диапазоне 20 Гц – 20 кГц, то есть со звуковой частотой), то и частицы воздуха (среды), находящиеся непосредственно перед источником, начнут совершать колебания с такой же частотой  $f$ . Такие периодические изменения положения частиц в пространстве приводят к периодически изменяющемуся уплотнению воздуха, и как следствие к возникновению периодически изменяющегося давления воздуха в данной точке пространства (переменное звуковое давление). Смещенные в пространстве частицы передают часть своего импульса соседним частицам, которые в свою очередь аналогично возбуждают соседние к ним частицы (по цепочке). Таким образом, все частицы будут вибрировать около положения собственного равновесия, а импульс будет передаваться, создавая звуковую волну. Далее передача импульса не происходит без его потери – чем большее расстояние проходит волна от источника до приемника, тем слабее становится переменное звуковое давление. Таким образом, происходит постепенное затухание звука, то есть уменьшение его интенсивности и амплитуды, которое обуславливается в значительной степени поглощением звука, связанным с необратимым переходом звуковой энергии в другие формы (главным образом в теплоту).

К приемникам звука относятся, в частности, слуховой аппарат человека и животных. В технике для приема звука применяются главным образом

электроакустические преобразователи: в воздухе – микрофоны, в воде – гидрофоны, в земной коре – геофоны. Для приема УЗ волн используют пьезоэлектрические преобразователи.

Ультразвуковые волны имеют очень широкое применение. Например, УЗ волны используют для изучения структуры вещества, например, модуля упругости и диссипативных характеристик. Ультразвук широко применяется в технике для контроля протекания процессов, например, контроль концентрации смеси газов, состава различных жидкостей и т.д. Используя отражение УЗ на границе различных сред, с помощью ультразвуковых приборов измеряют размеры изделий, определяют уровни жидкостей в емкостях. Ультразвук малой интенсивности (до  $0.1 \text{ Вт/см}^2$ ) используется в дефектоскопии. При помощи ультразвука осуществляется звуковидение для обнаружения предметов в непрозрачной для света среде. Ультразвук применяется не только в физике и технике, но и в биологии и в медицине.

Ввиду малых длин волн ультразвука характер его распространения определяется в первую очередь молекулярной структурой среды. Характерная особенность распространения ультразвука в многоатомных газах – существование областей дисперсии звука, сопровождающейся сильным возрастанием его поглощения. Ультразвук в газах, и в частности в воздухе, распространяется с большим затуханием.

Для описания ослабления переменного звукового давления  $p$  плоской звуковой волны можно применить закон поглощения плоской звуковой волны, таким образом:

$$p(x) = p(0) \cdot \exp(-\alpha x), \quad (1)$$

где  $p(0)$  – амплитуда переменного звукового давления на выходе из источника,  $p(x)$  – амплитуда на расстоянии  $x$  от источника звуковой волны,  $\alpha$  – коэффициент поглощения, являющийся константой при неизменных условиях, и зависящий от частоты волны, температуры среды, количества степеней свободы атомов (или молекул) газа и его относительной влажности.

Интенсивность звуковой волны пропорциональна квадрату давления, то есть  $I \sim p^2$ , таким образом, уменьшение интенсивности звуковой волны подчиняется закону:

$$I(x) = I(0) \cdot \exp(-2\alpha x). \quad (2)$$

В случае если волна, излученная звуковым источником, является не плоской, а сферической, а ее энергия излучается в полный телесный угол, тогда интенсивность такой звуковой волны, действующей на единицу площади сферической поверхности, будет равномерно распределена по сферической поверхности и уменьшаться с расстоянием пропорционально  $1/x^2$ .

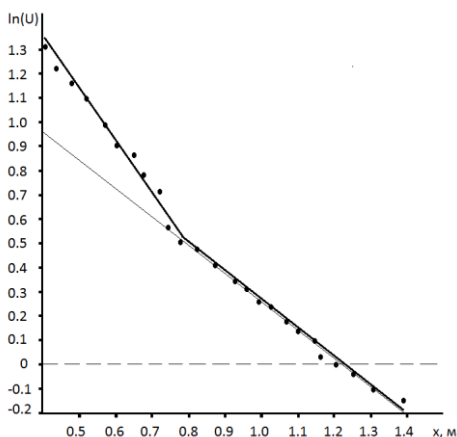


Рис.1. Зависимость логарифма напряжения на приемнике, пропорционального звуковому давлению ультразвуковой волны, от расстояния  $X$  между источником звуковой волны и ее приемником.

В данной работе с помощью приемника и соединенного с ним мультиметра проводятся измерения переменного звукового давления, а интенсивность звуковой волны вычисляется, исходя из пропорциональности  $I \sim p^2$ . Таким образом, ожидается уменьшение

звукового давления, пропорциональное  $1/x$ .

На больших расстояниях сферическую волну можно приближенно рассматривать как плоскую. Рассмотрим пример измерения звукового давления. На рисунке 1 представлена зависимость логарифма напряжения  $U$ , снятого с приемника, от расстояния  $x$  между источником звуковой волны и ее приемником.

Из рис. 1 видно, что в области дальней зоны ( $x > 0,7$  м) с достаточной точностью и с учетом заданных условий эксперимента (для примера частота  $f = 40$  кГц, температура  $t = 20^\circ\text{C}$ , относительная влажность воздуха  $\varphi = 50\%$ ), экспериментальные точки ложатся на наклонную прямую. Угловой коэффициент построенной прямой вычисляется следующим образом:

$$\alpha = \frac{\ln U_1 - \ln U_2}{x_2 - x_1} = 1.3 \text{ м}^{-1}. \quad (3)$$

Таким образом, из уравнений (1) и (2) с учетом  $\alpha = 1,3 \text{ м}^{-1}$  на расстоянии  $x = 1$  м отношение давлений на расстоянии  $x = 1$  м и  $x = 0$  м:

$$p/p_0 = 0,273.$$

Соответственно отношение интенсивностей

$$I/I_0 = 0,0743.$$

Иногда для характеристики звука применяется уровень звукового давления – выраженное в децибелах отношение величины данного звукового давления к пороговому значению звукового давления  $p_0 = 2 \cdot 10^{-5} \text{ Па}$ . В пересчете на часто используемые в технике единицы уровня звукового давления (от которого зависит громкость звука) децибелы ослабление с расстоянием давления и интенсивности звуковой волны запишется следующим образом:

$$L = 20 \lg \frac{p}{p_0} = 10 \lg \frac{I}{I_0} = -11.3 \text{ дБ/м}. \quad (4)$$

Если учесть, что поглощение сферических звуковых волн в воздухе вблизи их источника пренебрежимо мало, то интенсивность волны должна убывать пропорционально  $1/x^2$  (смотри выше), что иллюстрирует рис. 2. В непосредственной близости к источнику распространение сферической звуковой волны происходит в основном без уменьшения интенсивности волны. Такая ситуация сохраняется до тех пор, пока волна не пройдет большее расстояние, где уже сферическая волна может быть представлена в виде плоской волны, и уменьшение интенсивности волны можно рассматривать как поглощение в воздухе.

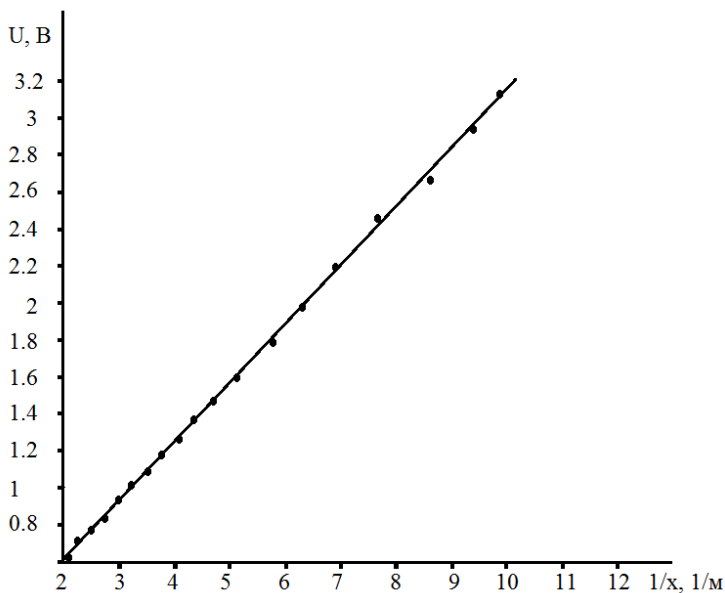


Рис. 2. Зависимость напряжения, снятого с приемника ультразвуковой волны, от обратного расстояния  $X$  между источником звуковой волны и ее приемником

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ УСТАНОВКА

Экспериментальная установка представлена на рисунке 3. Она состоит из блока питания (12 В), передвижных источника и приемника ультразвуковых волн, расположенных на опорной скамье, цифрового мультиметра, соединительных проводов.



Рис. 3. Общий вид экспериментальной установки

## ИЗМЕРЕНИЯ И ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ

1. Соберите установку, как показано на рисунке 3. Отцентрируйте систему, для этого источник и приемник ультразвуковых волн разместите на одной высоте и вдоль одной оси. Расположенный в начале опорной скамьи источник подсоедините к блоку питания, для этого соедините его проводом с гнездом блока питания и включите его в непрерывный режим работы,

нажав кнопку «Соп». Приемник соедините с левым гнездом «BNC». Аналоговый выход цифрового мультиметра соедините с блоком питания, как показано на рисунке 3. С мультиметра будут сниматься показания в вольтах, прямо пропорциональные звуковому давлению волны. Для обеспечения пропорциональности между входящим сигналом и аналоговым выходящим сигналом не следует работать в области насыщения усилителя. Если все таки такая ситуация произошла, о чем сигнализирует горящая лампочка «OVL», следует уменьшить либо амплитуду исходящего сигнала на источнике, либо входящий сигнал на источник.

2. Проведите две серии измерений.

2.1. Исследуйте характеристики сферической звуковой волны вблизи источника. Измерения звукового давления звуковой волны начните с расстояния  $x \geq 18 \text{ см}$  от источника и проводите пошагово с интервалом  $2 \text{ см}$ . Звуковое давление измеряется мультиметром, установленным в режим измерения напряжения. Результаты запишите в таблицу 1.

2.2. Исследуйте поглощение ультразвуковых волн в воздухе. Измерения звукового давления звуковой волны начните с расстояния  $x \geq 40 \text{ см}$  от источника и проводите пошагово с интервалом  $5-10 \text{ см}$ . Результаты запишите в таблицу 1.

*Примечание:* В начале каждой серии измерений убедитесь, что напряжение на приемнике не превышает  $3,3-3,4 \text{ В}$ .

**Таблица 1**

$x, \text{ см}$	Напряжение $U, \text{ В}$	$\ln(U)$
18		
20		
....		
40		
45		
....		



3. Постройте линейную и логарифмическую зависимости звукового давления звуковой волны от расстояния  $x$ , то есть  $U = f(x)$  и  $\ln(U) = f(x)$ .
4. По логарифмической зависимости методом парных точек определите коэффициент поглощения звуковой волны в воздухе. Сделайте вывод о поглощении звуковой волны в воздухе.

### КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Как возникает звуковая волна?
2. Что такое ультразвук, источники ультразвука?
3. Чем отличается плоская звуковая волна от сферической?
4. Сформулируйте закон поглощения ультразвука в воздухе.
5. Что такое интенсивность и давление звуковой волны?
6. Где и для чего используется ультразвук?