

Лабораторная работа

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СКОРОСТИ ЗВУКА В ВОЗДУХЕ МЕТОДОМ АКУСТИЧЕСКОГО РЕЗОНАНСА

В работе измеряется скорость звука методом стоячих волн, образующихся в столбе газа, заключенного в трубе. Один конец трубы закрыт поршнем, у другого расположена мембрана динамика. При колебаниях мембраны по трубе распространяется звуковая волна, которая интерферирует с волной, отраженной от поверхности поршня. Если частота колебаний мембраны совпадает с одной из частот собственных колебаний воздушного столба (явление резонанса), в трубе устанавливаются стоячие звуковые волны. При этом все точки воздушного столба совершают гармонические колебания (в направлении вдоль столба) переменной амплитуды с одинаковой частотой и фазой, одновременно достигая максимума смещения и синхронно проходя через положения равновесия.

Уравнение стоячей волны имеет вид

$$\xi = A \cdot \cos kx \cdot \cos \omega t$$

где ξ - смещение некоторой частицы среды от равновесного положения в момент времени t , $k = 2\pi / \lambda$ - т.н. волновое число и λ - длина волны.

Закон, по которому меняются скорости частиц и деформация среды, получается после дифференцирования уравнения стоячей волны по времени t и координате x :

$$\dot{\xi} = \frac{\partial \xi}{\partial t} \sim \cos kx \cdot \sin \omega t$$
$$\varepsilon = \frac{\partial \xi}{\partial x} \sim \sin kx \cdot \cos \omega t.$$

Избыточное давление Δp , возникающее в некоторой точке среды, пропорционально деформации. Поэтому уравнение для него будет иметь вид

$$\Delta p \sim \sin kx \cdot \cos \omega t.$$

У поверхности колеблющейся мембраны образуется пучность смещения и скорости (соответственно узел давления) стоячей волны, у поверхности поршня, наоборот, узел смещения и скорости (пучность давления). Одно из возможных распределений узлов и пучностей стоячей волны в трубе показано на рис. 1.

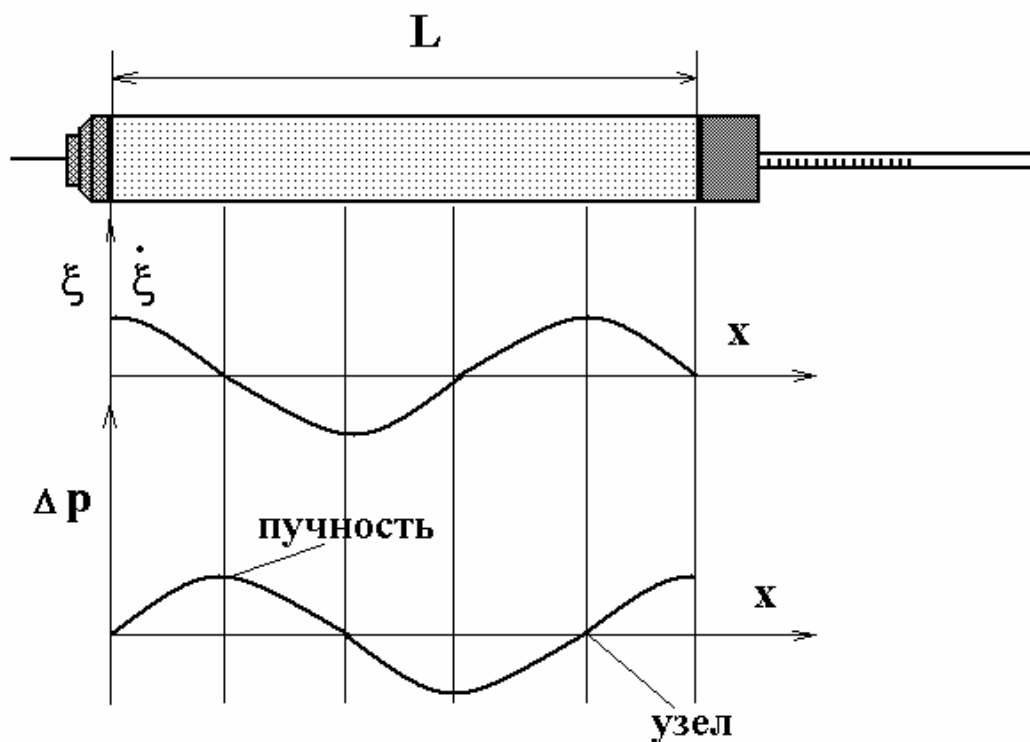


Рис. 1

Из этого рисунка видно, что при данной частоте колебаний мембраны динамика на длине столба L могут разместиться нечетное число n четвертей длин волн. Число n принимает значения 1, 2, 3, 4, ... Длины волн могут быть разными, они определяются соотношением

$$\lambda_n = \frac{v}{\nu_n}, \quad (1)$$

где v - скорость звука в воздухе и ν_n - частота колебаний мембраны динамика.

Какую бы частоту колебаний мембраны мы ни задали, в трубе образуется стоячая волна при условии, что

$$L = \frac{2n+1}{4} \frac{v}{\nu_n} \quad n = 0, 1, 2, \dots$$

Частоты ν_0, ν_1, ν_2 и т.д. называют частотами соответственно основного тона, первого, второго и т.д. обертонов звучащей трубы. Номер обертона равен количеству полуволн, образующихся в столбе воздуха. На рис.1 изображено распределение избыточного давления по трубе для второго обертона.

ОПИСАНИЕ УСТАНОВКИ

Приборы и принадлежности: установка для определения скорости звука в воздухе методом акустического резонанса; звуковой генератор.

Металлическая труба смонтирована на основании. Поршень, снабженный миллиметровыми делениями, передвигается вдоль трубы с помощью штока (см. рис. 1). Колебания воздуха в трубе возбуждаются под действием мембраны динамика, питающегося от генератора электрических колебаний звуковых частот.

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Включить генератор звуковых частот.
2. Установить частоту колебаний равной 800 Гц. Перемещая поршень в направлении от мембраны динамика, произвести отсчет трех последовательных его положений, при которых возникает резонанс. Результаты занести в таблицу. Отсчеты в каждом резонансном положении произвести не менее трех раз, определяя координаты положений поршня как средние арифметические значения этих отсчётов.
3. Подобные измерения произвести на частотах 1000, 1200, 1400 и 1600 Гц.
4. Для каждой из перечисленных частот вычислить длину звуковой волны как удвоенную разность координат соседних резонансных положений поршня. Найти среднее значение длины волны λ для каждой из использованных частот.
5. Используя соотношение (1) и полученные значения длин волн, рассчитать скорость звука в воздухе.
6. Построить график зависимости скорости звука от частоты колебаний мембраны генератора. Объяснить характер этой зависимости.

Таблица

ν Гц	800	1000	1200	1400	1600
x_1					
x_2					
x_3					
$\lambda_1 = 2(\langle x_2 \rangle - \langle x_1 \rangle)$					
$\lambda_2 = 2(\langle x_3 \rangle - \langle x_2 \rangle)$					
v м/с					

Контрольные вопросы

1. Чем продольная волна отличается от поперечной?

2. Написать уравнение бегущей волны и разъяснить смысл входящих в него величин.
3. По какой траектории движется частица в бегущей продольной волне?
4. Чем определяется скорость звука в воздухе?
5. Как направлены скорости частиц воздуха по обе стороны от пучности давления?
6. Нарисовать распределение давления по оси трубы с открытыми торцами в случае, если мембрана звукового генератора расположена посередине трубы.