

ФИЗИКА АКУСТИЧЕСКОЙ ВОЛНЫ

Андросова Татьяна Евгеньевна

студент 4 курса, кафедра геоинформатики и информационной безопасности, Самарский университет, РФ, г. Самара

Болдырев Артем Сергеевич

студент 4 курса, кафедра геоинформатики и информационной безопасности, Самарский университет, РФ, г. Самара

Курочкин Владислав Михайлович

студент 4 курса, кафедра геоинформатики и информационной безопасности, Самарский университет, РФ, г. Самара

Чернов Роман Вячеславович

студент 4 курса, кафедра геоинформатики и информационной безопасности, Самарский университет, РФ, г. Самара

Физическое явление, которое мы называем звуком, происходит благодаря колебаниям молекул воздуха под воздействием энергии акустического источника. Перемещение $s(t)$ по отношению к точке равновесия может быть смоделировано синусоидой:

$$s(t) = A \sin(2\pi ft + \varphi) = A \sin\left(\frac{2\pi}{T}t + \varphi\right) \quad (1)$$

где: A – амплитуда и представляет собой максимальное расстояние от точки равновесия

(обычно измеряемое в нанометрах), φ – фаза, T – период – интервал времени, между

которым $s(t)$ принимает одно и то же значение, и $f = \frac{1}{T}$ – частота, измеряемая в герцах

и обозначающая, сколько циклов пройдет $s(t)$ за одну секунду. Так как все молекулы воздуха в конкретном месте пространства колеблются вместе, акустическая волна определяется плотностью пространства, что соответствует периодическим сжатиями и разрежениями. В результате давления изменяются во времени периодически по

синусоидальному закону $p(t)$ с той же самой частотой f , но амплитудой P и фазой

$$\varphi^* = \varphi + \frac{\pi}{2}$$

$$p(t) = P \sin\left(2\pi f t + \varphi + \frac{\pi}{2}\right) = P \sin\left(\frac{2\pi}{T} t + \varphi + \frac{\pi}{2}\right) \quad (2)$$

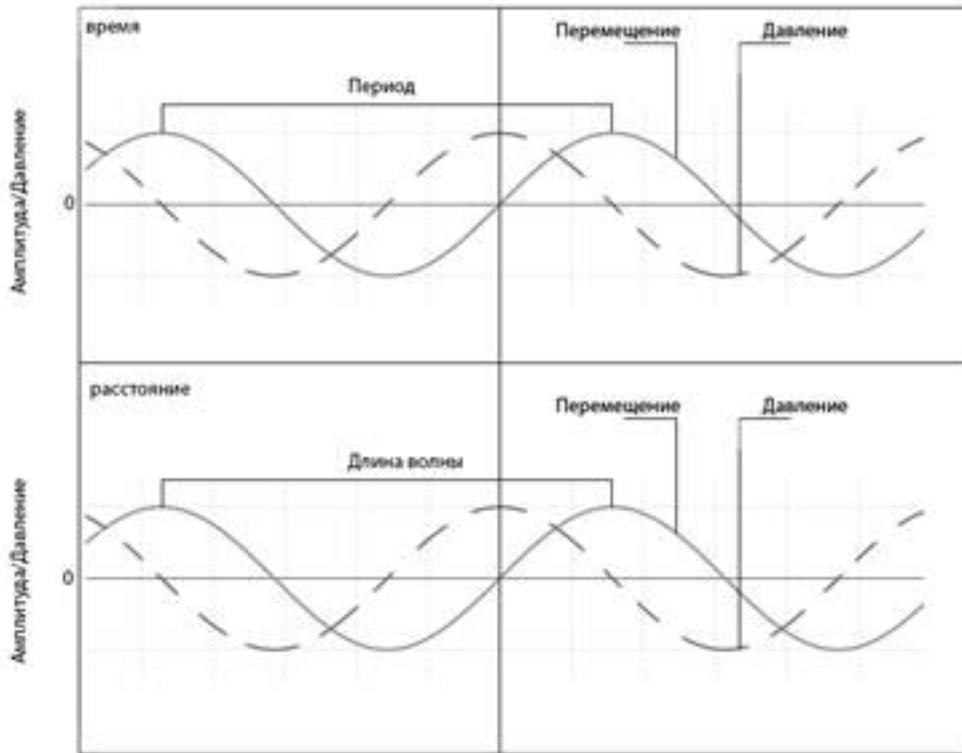


Рисунок 1. Частота и длина волны

Верхний график показывает перемещение молекул воздуха по отношению к точке их равновесия как функцию от времени. Нижний график показывает распространение значения давлений как функцию расстояния от источника звука.

Пунктирная синусоида на верхнем графике рисунка 1 соответствует $p(t)$ и показывает, что изменение давлений имеет задержку, равную четверти периода (т.к. к фазе добавляется $\frac{\pi}{2}$), по отношению к $s(t)$. Максимальное давление, в обычной городской среде, соответствует примерно 0.6 процентам атмосферного давления.

Когда молекулы воздуха колеблются, они переносят часть своей механической энергии окружающим частицам через коллизии. Молекулы, получающие эту энергию, также начинают колебаться и переносят энергию дальше. Таким образом акустическая волна распространяется через воздух (или любую другую среду) и может достичь слушателей далеко от источника. Важным является то, что в таком механизме распространения отсутствует поток частиц от точки излучения к точке назначения. Звук распространяется только за счет изменения давлений и колебания молекул на расстоянии x от источника.

Нижний график рисунка 1 показывает перемещений $s(x)$ молекул воздуха как функцию расстояния x от источника звука:

$$s(x) = A \sin\left(\frac{2\pi}{v} fx + \varphi\right) = A \sin\left(\frac{2\pi}{\lambda} x + \varphi\right) \quad (3)$$

где: v - средняя скорость звука и $\lambda = \frac{v}{f}$ - длина волна, т.е. расстояние между двумя

точкам, в которых $s(x)$ принимает одинаковое значение. Значение других символов то же самое, как и в уравнении 1. Каждая точка вдоль горизонтальной оси нижнего графика на рисунке 1 соответствует разной молекуле, перемещение которой соответствует значению

$s(x)$. Изменение давления $p(x)$ происходит по тому же синусоидальному закону, но имеет задержку на четверть периода как в случае с $p(t)$ (пунктирная линия нижнего графика рисунка 1):

$$p(x) = P \sin\left(\frac{2\pi}{v} fx + \varphi + \frac{\pi}{2}\right) = P \sin\left(\frac{2\pi}{\lambda} x + \varphi + \frac{\pi}{2}\right) \quad (4)$$

Из уравнений, представленных выше, можно сделать следующий вывод: акустическая волна полностью определяется двумя параметрами - частотой f и амплитудой A . С точки зрения восприятия A отвечает за громкость звука, в то время как f отвечает за его высоту. В то время как два звука с одинаковой громкостью могут быть различимы по их частоте, то для заданной частоты два звука могут быть различимы по их громкости. Значение f измеряется в Герцах (Гц). Измерение же амплитуды A осуществляется при помощи специальных физических эффектов, зависящих от амплитуды изменения давлений.

Амплитуда связана с энергией акустического источника. В самом деле, чем выше энергия, тем больше перемещение и, соответственно, воспринимаемая громкость звука. С точки зрения обработки звука важным является то, что случается со слушателем на расстоянии R от акустического источника. Для того, чтобы найти связь между энергией источника и расстоянием R , можно использовать интенсивность I , то есть энергию, проходящую за единицу времени через единицу поверхности. Если в среднем акустический источник является изотропным, то есть имеет одинаковые свойства во всех направлениях, то его энергий распространяется равномерно по сфере радиуса R с источником в центре. Тогда интенсивность I может быть выражена следующей формулой:

$$I(R) = \frac{W}{4\pi R^2} \quad (5)$$

где: $W = \frac{\Delta E}{\Delta t}$ - мощность источника, то есть количество энергии ΔE , излучаемое за

интервал времени длительностью Δt . Мощность измеряется в ваттах (Вт), а интенсивность - в ваттах на квадратный метр (Вт/м²). Тогда связь между интенсивность и амплитудой A можно выразить следующим образом:

$$I = 2Z\pi^2 f^2 A^2 \quad (6)$$

где: Z - характеристика, называемая акустическим импедансом.

Так как звуками, которые интересны в приложениях по их обработке, являются те, которые

могут быть восприняты людьми, интенсивность может быть измерена через соотношение $\frac{I}{I_0}$ - отношение интенсивности к порогу слышимости I_0 - минимальной интенсивности, которая может быть определена человеческим ухом. Однако, это создает некоторые проблемы, потому что значение I_0 соответствует величине 10^{-12} Вт/м², в то время как максимальное значение I , которое может быть перенесено без постоянных физиологических травм соответствует $I_{max} = 10^3$ Вт/м². Таким образом соотношение $\frac{I}{I_0}$ может иметь значение на 15 порядках амплитуды, что создает трудности при работе с разными значениями интенсивности. По этой причине отношение $\frac{I}{I_0}$ измеряются в децибелах:

$$I^* = 10 \log_{10} \left(\frac{I}{I_0} \right) \quad (7)$$

где: I^* - интенсивность, измеренная в Дб. Таким образом, значения интенсивности варьируются между 0 ($I = I_0$) и 150 ($I = I_{max}$). Так как интенсивность пропорциональна квадрату максимального давления:

$$I = \frac{P^2}{2Z} \quad (8)$$

значение I^* может быть выражено в терминах уровня звука:

$$I^* = 20 \log_{10} \left(\frac{P}{P_0} \right) \quad (9)$$

Численное значение интенсивности является одним и тем же как при использовании дБ, так и при дБ уровня звука, но последнее позволяет нам связать интенсивность и давление. Это важно, так как давление - физический эффект, который достаточно легко поддается измерению и именно на этом эффекте работают микрофоны.

Настоящие звука никогда не характеризуются единственной частотой f , но распределением энергии между различными частотами. Можно сказать, что о звук - сумма звуков с различными частотами, каждый из которых характеризуется определенной частотой и энергией. Из всего вышесказанного можно сделать важный вывод: звук может быть полностью описан частотой и энергией и именно с этими характеристиками взаимодействует ухо человека.

Список литературы:

1. Camastra F., Vinciarelli A., "Machine Learning for Audio, Image and Video Analysys", ISBN 978-1849966993, Oct. 2007.

