

11.6. Акустический резонанс. Анализ звуков

Большинство реальных колебательных систем излучает звуковые волны небольшой интенсивности. Поэтому для увеличения интенсивности звука обычно создают объемные колебательные системы, настроенные в резонанс с источником. Например, камертон в руке звучит очень слабо, но если его поставить на крышку открытого деревянного ящика, который настроен на частоту камертона, то звук становится достаточно сильным, чтобы слышать его на расстоянии нескольких метров. Нужно отметить, что продолжительность звучания при этом сокращается.

Для увеличения интенсивности звука струнные музыкальные инструменты имеют специальные деревянные корпуса — *резонаторы*. Эти резонаторы являются самой ответственной частью инструмента, которая характеризует качество его звучания.

Форма этих резонаторов разная для каждого инструмента и обусловлена требуемым набором собственных частот объемной колебательной системы. Акустические характеристики инструмента определяются его способностью резонировать на звуки всех частот, которые создают струны. Для струнных музыкальных инструментов высокого качества характерна их способность резонировать не только на своей основной частоте, но и на частоте обертонов. В технологии производства резонаторов высокие требования предъявляют к сортам дерева, клеям, лакам, краскам и т. д.

Акустический резонанс широко используется при гармоническом анализе сложного звука, основанном на методе Фурье, который состоит в разложении реальных звуковых колебаний на гармонические составляющие. Анализ звука имеет в акустике большое значение. Например, для того чтобы заглушить звук выхлопов двигателя автомобиля, необходимо знать, какие частоты и амплитуды колебаний составляют эти звуки. Пользуясь такими данными, можно выполнить расчет конструкции глушителя. При рациональном конструировании музыкальных инструментов необходимо делать анализ звуков этих инструментов. На рис. 11.5 изображена форма колебаний звуковой частоты рояля на частоте 128 Гц, а также его звуковой спектр. Из спектрограммы видно, что в звуке рояля присутствуют гармоники до восемнадцатой включительно.

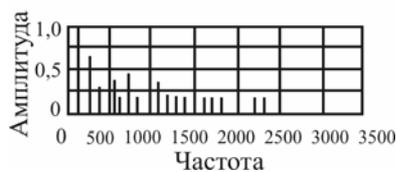


Рис. 11.5

Интерес представляет и гармонический анализ сложных звуков при рассмотрении вопроса о восприятии звука человеком. Ухо человека имеет множество резонаторов, которые позволяют отличать высоту звука и его *тембр* (окраску).

Такие звуки, как шум, не имеют какой-либо устойчивой формы колебаний и представляют собой типично непериодические процессы, так называемый «белый шум». Шум имеет сплошной спектр колебаний, в нем присутствуют все частоты. Однако характер одного шума может отличаться от характера другого. Например, шум леса отличается от шума мотора самолета или от шума улицы. Чтобы вести борьбу с шумами, прежде всего необходимо знать их звуковой спектр, чтобы заглушить основные частоты, которые присутствуют в этом шуме. Здесь также приходит на помощь анализ звука, который должен выполняться с учетом физиологических свойств слуха.

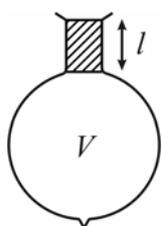


Рис. 11.6

Явление акустического резонанса позволяет опытным путем находить гармонические составляющие звуковых колебаний сложной формы. Для этой цели немецкий естествоиспытатель Герман Гельмгольц (1821—1894) впервые использовал сосуды шаровой формы с узким входным горлом (рис. 11.6), которые в дальнейшем получили название *резонаторов Гельмгольца*.

Поскольку диаметр горла резонатора мал, то при колебаниях скорость воздуха в нем значительно больше, чем в сосуде, поэтому роль колеблющейся массы выполняет главным образом масса воздуха в горле. Можно считать, что воздух в горле резонатора выполняет роль поршня или колеблющейся массы, а воздух в сосуде — роль пружины. Собственная частота колебаний резонатора Гельмгольца

$$\nu = \frac{\nu}{2\pi} \sqrt{\frac{S}{lV}},$$

где ν — скорость звука; S — площадь входного отверстия горла; l — его длина; V — объем резонатора.

Изменяя размеры сосуда и горла, можно получить резонаторы с собственными частотами, охватывающими весь диапазон звуковых частот. Имея большое количество резонаторов, частоты которых лежат достаточно близко друг к другу, можно определить амплитуды разных гармоник составляющих сложного звука, т. е. сделать гармонический анализ звуков. Но этот способ анализа используется редко. Современные анализаторы спектра звука преобразуют звуковые колебания в электрические, а затем анализируют полученные электрические колебания.