

11.5. Архитектурная акустика

Архитектурная акустика (акустика помещений) – область акустики, которая изучает распространение звуковых волн в помещении, отражение и поглощение их поверхностями, влияние отраженных волн на слышимость речи и музыки. Целью исследований в этой области является проектирование помещений (концертных залов, аудиторий, радиостудий и т.п.) с хорошими условиями слышимости.

Акустическое качество помещений определяется в первую очередь временем реверберации и ее частотной характеристикой. В закрытых помещениях значительного объема слушатель воспринимает кроме прямого звука еще и ряд его запоздалых повторений, обусловленных отражением от стен, пола, потолка помещения и т.д. В результате поглощения звуковой энергии при каждом отражении эти повторения ослабляются тем сильнее, чем больше их задержка относительно прямого звука. После выключения источника звука количество отраженной энергии в помещении уменьшается до тех пор, пока она не будет поглощена. Это постепенное затухание называется *реверберацией*. Ее можно рассматривать как затухание собственных колебаний замкнутого воздушного объема, возбужденных источником звука до его выключения.

Время реверберации – это время, за которое интенсивность звука ослабляется в миллион раз по отношению к первоначальной интенсивности ($I/I_0 \approx 10^{-6}$). В акустическом отношении помещение имеет наилучшие качества, если время реверберации τ_p составляет 0,5–1,5 с. Если $\tau_p < 3$ с, помещение считается хорошим. Если же $\tau_p > 5$ с, то акустика такого помещения плохая. Она характеризуется «гулким звучанием». При слишком медленном затухании (τ_p большое) звучание речи и музыки оказывается недостаточно выразительным, при короткой реверберации речь слышна отрывисто, глухо, а музыкальные звуки утрачивают выразительность. Оптимум реверберации достигается размещением в зале звукопоглощающих материалов и конструкций. В результате средний коэффициент поглощения увеличивается до нужных значений.

Оптимальное время реверберации – хотя и необходимое, но еще не достаточное условие хорошей слышимости речи или музыки в помещении. Большое значение имеет хорошая выразительность звучания, достигаемая довольно высокой интенсивностью первых отражений, приходящих к слушателю

с небольшим опозданием (до 50 мс для речи и до 100–150 мс для музыки). Выразительность звучания зависит от формы зала, особенно от конфигурации потолка, отражения от которого, имея большую интенсивность, должны содействовать равномерному распределению энергии первых отражений по всей площади зала. Для повышения равномерности распределения энергии по объему зала большие гладкие поверхности должны быть разделены декоративными или конструктивными элементами: пилястрами, уступами, лепными украшениями и т.п. В результате этого поверхность обеспечивает не зеркальное, а рассеянное отражение звука.

В залах большой вместимости условия слышимости могут быть улучшены с помощью электроакустических систем усиления и искусственной реверберации. Примером электроакустически оснащенного зала универсального назначения (для конгрессов, концертов, кинопоказа и т.п.) может служить большой зал Дворца Республики в Минске.

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 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 способность резонировать не только на своей основной частоте, но и на частоте обертонов. В технологии производства резона-

торов высокие требования предъявляют к сортам древесины, 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 звуки 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, излучаемых роялем на частоте 128 Гц, а также их звуковой спектр. Из спектрограммы видно, что в звуке рояля присутствуют гармоники до 18-й включительно.

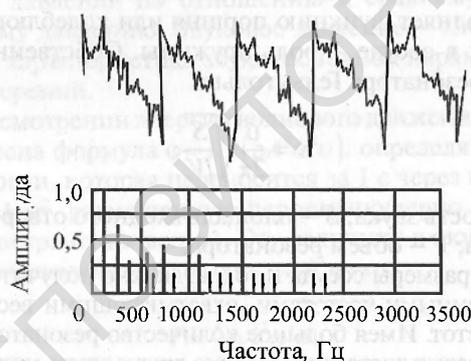


Рис. 11.5

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.

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

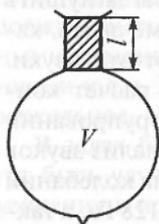


Рис. 11.6

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

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

где v — 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. произвести гармонический анализ звуков. Но этот способ анализа используется редко. Современные анализаторы спектра звука преобразуют звуковые колебания в электрические, а затем анализируют полученные электрические колебания.

11.7. Характеристики звукового поля.

Объективные характеристики звука

Для описания физических параметров звука существует два подхода, опирающихся на две системы физических величин, между которыми имеется определенная связь. П е р в ы й