

В. В. ФУРДУЕВ

**МЕТОД АКУСТИЧЕСКОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ АУДИТОРИЙ,
ОБОРУДОВАННЫХ ГРОМКОГОВОРЯЩИМИ УСТРОЙСТВАМИ**

(Представлено академиком В. Ф. Миткевичем 2 IV 1937)

Звуковое поле, создаваемое громкоговорителем в закрытом помещении, может быть характеризовано плотностью ϵ звуковой энергии в каждой точке поля. Эту величину удобно представить в виде суммы двух компонент: плотность ϵ_D — звуковой энергии в прямой волне, доходящей до рассматриваемой точки без отражений, и плотность ϵ_R — энергии, переносимой всей совокупностью отраженных волн. Эти компоненты определяются выражениями:

$$\epsilon_D = \frac{p_{\varphi_1}^2}{\rho c^2} = \frac{p_0^2}{\rho c^2} f^2(\varphi_1), \quad (1)$$

$$\epsilon_R = \frac{4L}{c\alpha S} (1 - \alpha). \quad (2)$$

Здесь p_{φ_1} — эффективное звуковое давление в точке, направление на которую составляет с осью громкоговорителя угол φ_1 , p_0 — звуковое давление в равноудаленной точке, лежащей на оси, $f(\varphi)$ — нормированная полярная характеристика излучения, предполагаемая симметричной относительно оси громкоговорителя, L — акустическая мощность, ρ — плотность воздуха, c — скорость звука, α — средний коэффициент поглощения, S — поверхность, поглощающая звук в помещении.

Пренебрегая реакцией помещения на источник звука, можно написать для акустической мощности, излучаемой в пределах угла 2π , выражение:

$$L = 2\pi D_1^2 \frac{p_0^2}{\rho c} \int_0^{\frac{\pi}{2}} f^2(\varphi) \sin \varphi d\varphi, \quad (3)$$

где D_1 есть расстояние, на котором осевое давление равно p_0 . Подставляя (3) в (2) и разделяя (2) на (1), получим отношение плотностей энергии в отраженных и прямой волнах, характеризующее степень участия диффузного звукового поля в воспринимаемом ухом слушателя ощущении:

$$R = \frac{\epsilon_R}{\epsilon_D} = \frac{8\pi}{S} \cdot \frac{1 - \alpha}{\alpha} \left[\frac{D_1}{f(\varphi_1)} \right]^2 \int_0^{\frac{\pi}{2}} f^2(\varphi) \sin \varphi d\varphi. \quad (4)$$

Формула (4) должна быть положена в основу акустического расчета аудиторий, оборудуемых громкоговорящими устройствами.

При оборудовании большого помещения громкоговорящими устройствами необходимо и достаточно удовлетворить следующим трем условиям:

1) Отношение R нигде не должно быть чрезмерно велико, дабы передача звука происходила с достаточной отчетливостью.

2) Отношение R в пределах воспроизводимой полосы частот от частоты зависеть не должно (во всяком случае эта зависимость не должна сказываться слишком резко).

3) Отношение R должно иметь постоянное значение на всей площади, занятой местами слушателей.

Формула (4) позволяет определить условия возможности удовлетворения указанным требованиям.

В целях уменьшения R обычно уменьшают время реверберации в помещении, другими словами, увеличивают средний коэффициент поглощения α . Формула (4) указывает на возможность уменьшения величины R путем применения громкоговорителей с направленным излучением, для которых

$$\int_0^{\frac{\pi}{2}} f^2(\varphi) \sin \varphi d\varphi < 1.$$

Стремление обеспечить независимость R от частоты приводит к необходимости отказаться от применения диффузорных громкоговорителей с излучателем, линейные размеры которого малы по сравнению с длиной звуковой волны в области низких и средних частот нормального рабочего диапазона. Действительно, если представить такой громкоговоритель в виде круглой поршневой диафрагмы, излучающей в полупространство, то для нормированной полярной характеристики излучения можно написать выражение:

$$f(\varphi) = \frac{2J_1(ka \sin \varphi)}{ka \sin \varphi}$$

(где J_1 — бесселева функция 1-го порядка, k — волновое число, a — радиус диафрагмы); тогда зависимость R от частоты (отвлекаясь от частотной характеристики поглощения) определяется интегралом:

$$\int_0^{\frac{\pi}{2}} \left[\frac{2J_1(ka \sin \varphi)}{ka \sin \varphi} \right]^2 \sin \varphi d\varphi = \frac{2}{k^2 a^2} \left[1 - \frac{J_1(2ka)}{ka} \right]. \quad (5)$$

Выражение (5) показывает, что в рассматриваемых условиях величина R будет убывать с ростом частоты сначала медленно, а потом все быстрее и быстрее. Таким образом удовлетворение условия (2) оказывается невозможным при использовании громкоговорителей, направленность которых столь резко меняется с частотой.

При использовании рупорных громкоговорителей независимость R от частоты может быть обеспечена с достаточным для технических целей приближением, поскольку вид полярных характеристик излучения меняется с частотой лишь в незначительной степени. Это объясняется тем, что при относительно высоких частотах основная часть звуковой энергии излучается диафрагмой в виде пучка, расходящегося медленнее, нежели стенки рупора; таким образом с возрастанием частоты «излучающее» сечение рупора уменьшается.

Обращаясь к условию постоянства отношения R на площади, занятой местами слушателей, заметим, что координаты слушателя входят в формулу (4) в виде отношения $\frac{D}{f(\varphi)}$. Это обстоятельство показывает, что при заданной форме полярной характеристики $f(\varphi)$ всегда можно найти такое расположение слушателей относительно громкоговорителя, при котором расстояние D меняется от точки к точке по тому же закону, которому следует изменение функции $f(\varphi)$; при этом отношение $\frac{D}{f(\varphi)}$ будет очевидно оставаться постоянным. Таким образом постоянство R может быть обеспечено в том случае, когда расположение мест слушателей в продольном и поперечном направлении относительно оси громкоговорителя воспроизводит форму полярной характеристики излучения, т. е. когда форма разреза и плана аудитории совпадает с формой полярной характеристики громкоговорящего устройства. Обратное, при заданном расположении мест слушателей всегда можно построить такую характеристику излучения, при которой $f(\varphi)$ будет меняться от точки к точке, следуя тому же закону, по которому происходит изменение расстояния между излучателем и слушателем.

Научно-исследовательский кино-фотоинститут.
Акустическая комиссия Академии Наук СССР.
Москва.

Поступило
2 IV 1937.