

# ВЫБОР И РАСЧЁТ АКУСТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ЗВУКОВОПРОИЗВОДЯЩИХ УСТРОЙСТВ СИСТЕМ ОПОВЕЩЕНИЯ

А. Пинаев  
к.т.н., доцент БГУИР, директор ОДО «Авангардспецмонтаж»  
М. Альшевский  
с.н.с. НИИ ПБ и ЧС МЧС РБ

Определение необходимой мощности и уровня звукового давления акустических устройств в системах оповещения всегда представляло значительную проблему для проектировщиков. Некоторые производители систем оповещения, стараясь облегчить их труд, приводят всевозможные графики, таблицы или программы для расчета этих параметров. Чаще всего попытка практического применения подобных рекомендаций или программ порождает больше вопросов, чем ответов, или ставит в тупик абсурдностью полученных решений.

Для самостоятельного изучения проблем акустики у большинства проектировщиков просто нет времени, поэтому имеет смысл изложить здесь базовые принципы акустических расчетов и выбора звуковоспроизводящих устройств.

Расчет акустических параметров звуковоспроизводящих устройств предполагает выбор необходимых громкоговорителей в зависимости от действующего уровня фонового шума и выбранной схемы озвучивания. Действующий уровень фонового шума зависит от назначения помещения. Полагается, что для качественного восприятия речи (диспетчерских передач) уровень звукового давления громкоговорителя должен на 10-15 дБ превышать уровень фонового шума в наиболее удаленной точке помещения.

При относительно низких фоновых шумах (менее 75 дБ) необходимо обеспечить избыточный уровень полезного сигнала 15 дБ, при высоких (более 75 дБ) - достаточно 10 дБ. То есть требуемый уровень звукового давления составляет:  $L_{max}=L_a+15$ , дБ - для помещения с относительно низким уровнем фоновых шумов;  $L_{max}=L_a+10$ , дБ - для помещения с высоким уровнем фоновых шумов, где  $L_a$  - действующий уровень фонового шума в помещении.

## ХАРАКТЕРИСТИКИ ГРОМКОГОВОРТЕЛЕЙ

К основным характеристикам громкоговорителей относятся их направленность, диапазон частот и уровень звукового давления, развиваемого на расстоянии 1 м от излучателя.

**Ненаправленными громкоговорителями** являются динамики, потолочные громкоговорители, а также всевозможные звуковые колонки (хотя необходимо отметить, что колонки занимают промежуточное положение между направленными и ненаправленными системами). Область распространения звука ненаправленных громкоговорителей (диаграмма направленности) достаточно широка (около 60°), а уровень звукового давления относительно невелик.

**К направленным громкоговорителям** в первую очередь относятся рупорные излучатели, так называемые «колокольчики». В рупорных громкоговорителях происходит концентрация акустической энергии за счет особенностей конструкции самого рупора, они отличаются узкой диаграммой направленности (около 30°) и высоким уровнем звукового давления. Работают рупорные громкоговорители в узкой полосе частот и потому плохо подходят для качественного воспроизведения музыкальных программ, хотя за счет высокого уровня звукового давления хорошо подходят для озвучивания больших площадей, в том числе открытых пространств.

**Выбор громкоговорителей по диапазону частот** зависит от назначения системы. Для диспетчерских передач и создания музыкального фона вполне достаточным является диапазон 200 Гц - 5 кГц, который обеспечивается практически любыми акустическими устройствами (рупорные излучатели имеют несколько меньший диапазон, но для речевых передач его вполне хватает). Для высококачественного озвучивания следует использовать громкоговорители, имеющие диапазон частот не менее 100 Гц - 10 кГц.

**Необходимый уровень звукового давления** является единственной характеристикой громкоговорителя, которая определяется по результатам расчетов. Сданной характеристикой возникает наибольшее количество проблем, которые чаще всего связаны с путаницей между электрической мощностью и звуковым давлением. Между этими величинами существует косвенная зависимость, поскольку громкость звучания определяется звуковым давлением, а мощность обеспечивает работу громкоговорителя. Из подводимой мощности только часть преобразуется в звук и величина этой части зависит от коэффициента полезного действия конкретного громкоговорителя. Большинство производителей акустических систем указывает в технической документации звуковое давление в Паскалях или уровень звукового давления в децибелах на расстоянии 1 м от излучателя. Если указано звуковое давление в Паскалях, в то время как необходимо получить уровень звукового давления в децибелах, перевод одной величины в другую осуществляется по следующей формуле:

$$L(\text{дБ}) = 20 \lg \frac{p(\text{Па})}{2 \cdot 10^{-5}}$$

Для типичного ненаправленного громкоговорителя можно принять, что 1 Вт электрической мощности соответствует уровню звукового давления примерно 95 дБ. Каждое увеличение (уменьшение) мощности вдвое приводит к увеличению (уменьшению) уровня звукового давления на 3 дБ. То есть 2 Вт - 98 дБ, 4 Вт - 101 дБ, 0,5 Вт - 92 дБ, 0,25 Вт - 89 дБ и т.д. Существуют громкоговорители, имеющие звуковое давление на 1 Вт мощности менее 95 дБ, и громкоговорители, обеспечивающие на 1 Вт 97 и даже 100 дБ, при этом громкоговоритель мощностью 1 Вт с уровнем звукового давления 100 дБ заменяет громкоговоритель мощностью 4 Вт с уровнем 95 дБ/Вт (95 дБ - 1 Вт, 98 дБ - 2 Вт, 101 дБ - 4 Вт), очевидно, что применение такого громкоговорителя более экономично. Можно добавить, что при одной и той же электрической мощности уровень звукового давления потолочных громкоговорителей на 2-3 дБ ниже, чем настенных. Это связано с тем, что настенный громкоговоритель расположен либо в отдельном корпусе, либо у хорошо отражающей задней поверхности, поэтому звук, излучаемый назад, практически полностью отражается вперед. Потолочные громкоговорители, как правило, крепятся на фальшпотолках или подвесах, поэтому звук, излучаемый назад, не отражается и не влияет на повышение фронтального звукового давления. Рупорные громкоговорители при мощности 10-30 Вт обеспечивают звуковое давление 12-16 Па (115-118 дБ) и более, имея, тем самым, наиболее высокое соотношение децибел к ваттам.

*В заключение следует отметить, что при расчетах громкоговорителей необходимо обращать внимание на развиваемое ими звуковое давление, а не на электрическую мощность, и только при отсутствии этой характеристики в описании руководствоваться типовой зависимостью - 95 дБ/Вт.*

## РАСЧЕТ МОЩНОСТИ ГРОМКОГОВОРИТЕЛЕЙ ДЛЯ СОСРЕДОТОЧЕННЫХ СИСТЕМ

Расчет мощности громкоговорителей для сосредоточенных систем осуществляется в следующем порядке:

1) определяется необходимый уровень звука в удаленной точке озвучиваемого помещения:

$$L_{max} = L_a + 10, \text{ дБ},$$

где  $L_a$  - действующий уровень фонового шума в помещении, 10 - превышение требуемого уровня звукового давления над фоном;

2) рассчитывается звуковое давление, которое должен развивать громкоговоритель в удаленной точке:

$$p_{max} = 10^{0,05(L_{max} - 94)}, \text{ Па}$$

3) определяется звуковое давление, которое должен развивать громкоговоритель на расстоянии 1 м:

$$p_1 = p_{max} L,$$

где  $L$  - расстояние от громкоговорителя до крайней точки.

Если в сосредоточенной системе используется несколько громкоговорителей, то:

$$p_1 = p_{max} L / \sqrt{n},$$

где  $n$  - число громкоговорителей в сосредоточенной системе;

4) определяется уровень звукового давления, которое должен обеспечивать каждый громкоговоритель:

$$L_{zp} = 20 \lg \frac{p_1}{2 \cdot 10^{-5}},$$

величина  $2 \times 10^{-5}$ , стоящая в знаменателе, соответствует уровню абсолютной тишины в Паскалях;

5) по значению  $L_{zp}$  или  $p_1$  выбирается необходимый громкоговоритель или находится его необходимая типовая мощность.

При выборе типовой мощности используется соотношение 95 дБ/Вт.

### Пример 1:

необходимо рассчитать мощность громкоговорителя в сосредоточенной системе с двумя громкоговорителями.

*Исходные данные:*

расстояние от громкоговорителя до удаленной точки  $L$  - 15 м, уровень фонового шума в помещении -  $L_a$  - 75 дБ.

*Требуемый уровень звука* в удаленной точке -

*Требуемое звуковое давление* в удаленной точке:

Необходимое звуковое давление на расстоянии 1 м от громкоговорителя:

$$L_{max} = L_a + 10 = 75 + 10 = 85 \text{ дБ}.$$

$$p_{max} = 10^{0,05(L_{max} - 94)} =$$

$$p_{max} = 10^{0,05(85 - 94)} = 0,35 \text{ Па}.$$

$$p_1 = p_{max} L / \sqrt{n} = 0,35 \times 15 \sqrt{2} = 3,6 \text{ Па}.$$

Уровень звукового давления, которое должен развивать громкоговоритель на расстоянии 1 м:

$$\begin{aligned} L_{zp} &= 20 \lg \frac{p_1}{2 \cdot 10^{-5}} = \\ &= 20 \lg \frac{3,6}{2 \cdot 10^{-5}} = 105 \text{ дБ}. \end{aligned}$$

Типовой громкоговоритель мощностью 1 Вт обеспечивает уровень звукового давления примерно 95 дБ, мощностью 2 Вт - 97 дБ, 4 Вт - 101 дБ, 8 Вт - 104 дБ. Следовательно, каждый из двух громкоговорителей должен иметь мощность около 8 Вт.

### Пример 2:

рассчитать мощность громкоговорителя в сосредоточенной системе с направленным громкоговорителем. *Исходные данные:* расстояние от громкоговорителя до удаленной точки  $L$  - 80 м, уровень фонового шума -  $L_a$  - 70 дБ. Требуемый уровень звука в удаленной точке -

$$L_{max} = L_a + 10 = 70 + 10 = 80 \text{ дБ}.$$

Требуемое звуковое давление в удаленной точке:

$$p_{max} = 10^{0,05(L_{max} - 94)} =$$

$$p_{max} = 10^{0,05(80 - 94)} = 0,19 \text{ Па}.$$

Необходимое звуковое давление на расстоянии 1 м от громкоговорителя:

$$p_1 = p_{max} L = 0,19 \times 80 = 15,96 \text{ Па}.$$

Уровень звукового давления, которое должен развивать громкоговоритель на расстоянии 1 м:

$$\begin{aligned} L_{zp} &= 20 \lg \frac{p_1}{2 \cdot 10^{-5}} = \\ &= 20 \lg \frac{15,2}{2 \cdot 10^{-5}} = 117,6 \text{ дБ}. \end{aligned}$$

Громкоговоритель типа 50ГРД-3 мощностью 50 Вт имеет уровень звукового давления 118 дБ, т.е. достаточный для озвучивания участка на заданном расстоянии.

### РАСЧЕТ МОЩНОСТИ ГРОМКОГОВОРИТЕЛЕЙ ДЛЯ РАСПРЕДЕЛЕННЫХ СИСТЕМ

Расчет мощности громкоговорителей для одинарной и двойной **настенной** цепочки:

1) определяется необходимый уровень звука в помещении:

$$L_{max} = L_a + 10, \text{ дБ},$$

где  $L_a$  - действующий уровень фонового шума в помещении

2) рассчитывается звуковое давление, которое должен развивать громкоговоритель в удаленной точке:

$$p_{max} = 10^{0,05(L_{max} - 94)}, \text{ Па};$$

3) определяется звуковое давление, которое должен развивать громкоговоритель на расстоянии 1 м:

- для одиночной цепочки или цепочки, расположенной в шахматном порядке:

$$p_1 = p_{max} \sqrt{\frac{bD}{3}}, \text{ Па}$$

- для двойной цепочки:

$$p_1 = p_{max} \sqrt{\frac{bD}{3}}, \text{ Па},$$

где  $b$  - ширина помещения,  $D$  - расстояние между громкоговорителями в цепочке.

Вместо  $D$  можно подставить выражение:

$$D = L/N,$$

где  $L$  - длина помещения,  $N$  - количество громкоговорителей вдоль одной стены;

4) определяется уровень звукового давления, которое должен обеспечивать каждый громкоговоритель:

$$L_{zp} = 20 \lg \frac{p_1}{2 \cdot 10^{-5}} ;$$

5) по значению  $L_{zp}$  выбирается необходимый громкоговоритель или находится его необходимая типовая мощность. При выборе по типовой мощности используется соотношение - 95 дБ/Вт.

#### Пример 3.

Операционный зал банка:

длина помещения - 18 м, ширина - 7,5 м, высота - 4,5 м. Рекомендуется использовать два громкоговорителя - по одному на каждую сторону. Шаг громкоговорителей:  $D = 6$  м.

По назначению помещения ожидаемый уровень фонового шума - 60-63 дБ; необходимый уровень звука в помещении:

$$L_{max} = L_a + 10 = 63 + 10 = 73 \text{ дБ};$$

звуковое давление, которое должны развивать громкоговорители:

$$p_{max} = 10^{0,05(L_{max} - 94)} =$$

$$p_{max} = 10^{0,05(73 - 94)} = 0,09 \text{ Па};$$

звуковое давление, которое должен развивать громкоговоритель на расстоянии 1 м:

$$\begin{aligned} p_1 &= p_{max} \sqrt{\frac{bD}{3}} = \\ &= 0,09 \sqrt{\frac{7,5 \cdot 6}{3}} = 0,35 \text{ Па}; \end{aligned}$$

уровень звукового давления громкоговорителя:

$$\begin{aligned} L_{zp} &= 20 \lg \frac{p_1}{2 \cdot 10^{-5}} = \\ &= 20 \lg \frac{0,35}{2 \cdot 10^{-5}} = 85 \text{ дБ}. \end{aligned}$$

Такой уровень звукового давления соответствует типовым громкоговорителям с мощностью, намного меньшей 0,5 Вт.

Торговый зал магазина:

длина помещения:  $L$  - 25 м, ширина:  $b$  - 18 м, высота:  $h$  - 5 м, люди преимущественно стоят - добавочная высота:  $h_d$  - 1,5 м. Рекомендуется двойная настенная цепочка, по три громкоговорителя на каждую сторону, шаг цепочки  $D$  - 8 м.

По назначению и площади объекта ориентировочный уровень фонового шума следует ожидать в диапазоне 65-70 дБ; необходимый уровень звука в помещении:

$$L_{max} = L_a + 10 = 70 + 10 = 80 \text{ дБ};$$

звуковое давление, которое должны развивать громкоговорители:

$$p_{max} = 10^{0,05(L_{max} - 94)} =$$

$$p_{max} = 10^{0,05(80 - 94)} = 0,2 \text{ Па};$$

звуковое давление, которое должен развивать громкоговоритель на расстоянии 1 м:

$$p_1 = p_{max} \sqrt{\frac{0,5bD}{3}} =$$
$$= 0,2 \sqrt{\frac{0,5 \cdot 18 \cdot 8}{3}} = 0,97 \text{ Па};$$

уровень звукового давления громкоговорителя:

$$L_{zp} = 20 \lg \frac{p_1}{2 \cdot 10^{-5}} =$$
$$= 20 \lg \frac{0,97}{2 \cdot 10^{-5}} = 94 \text{ дБ}.$$

Такой уровень звукового давления соответствует типовому громкоговорителю мощностью немного меньше 1 Вт, следовательно, можно использовать громкоговорители по 1 Вт каждый.

### РАСЧЕТ МОЩНОСТИ ГРОМКОГОВОРИТЕЛЕЙ ДЛЯ ОДИНОЧНОЙ И ДВОЙНОЙ ПОТОЛОЧНОЙ ЦЕПОЧКИ И ПОТОЛОЧНОЙ РЕШЕТКИ:

1) определяется необходимый уровень звука в помещении:

$$L_{max} = L_a + 10, \text{ дБ},$$

где  $L_a$  - действующий уровень фонового шума в помещении (при уровне фонового шума более 75 дБ -  $L_{max} = L_a + 7$ , дБ);

2) рассчитывается звуковое давление, которое должен развивать громкоговоритель в удаленной точке:

$$p_{max} = 10^{0,05(L_{max} - 94)}, \text{ Па};$$

3) определяется звуковое давление, которое должен развивать громкоговоритель на расстоянии 1 м:

- для одиночной цепочки, расположенной по средней линии помещения:

$$p_1 = p_{max} \sqrt{\frac{0,5bD}{3}}, \text{ Па};$$

- для двойной цепочки:

$$p_1 = p_{max} \sqrt{\frac{0,25bD}{3}}, \text{ Па};$$

- для потолочной решетки:

$$p_1 = \frac{p_{max} D}{3}, \text{ Па};$$

где  $b$  - ширина помещения,  $D$  - расстояние между громкоговорителями в цепочке;

4) определяется уровень звукового давления, которое должен обеспечивать каждый громкоговоритель:

$$L_{zp} = 20 \lg \frac{p_1}{2 \cdot 10^{-5}}$$

5) по значению выбирается необходимый громкоговоритель или находится его необходимая типовая мощность. При выборе по типовой мощности используется соотношение 95 дБ/Вт.

*Несмотря на кажущуюся сложность, приведенные формулы не представляют значительного труда при расчетах и не требуют специальной математической подготовки. Более того, после нескольких расчетов проектировщик будет определять необходимые характеристики акустических устройств без дополнительных вычислений, интуитивно.*

*В заключение можно указать причину большинства решений, противоречащих практическому опыту, получаемых в результате специализированных программ по акустике или при использовании вышеприведенных формул. Как правило, она кроется в некорректном задании действующего уровня фонового шума. В ряде справочных и технических изданий приводятся примерные уровни фоновых шумов для помещений различного функционального назначения. Относиться к этим данным следует крайне осторожно, поскольку в разных источниках для одних и тех же помещений они могут отличаться на 5-10 дБ (что дает очень существенный разброс по звуковому давлению), кроме того, необходимо учитывать, что при пожаре из-за возникшей паники или обрушения конструкций требуемый уровень фоновых шумов следует принимать большим, чем для обычных диспетчерских передач.*