

АКУСТИКА

Базовые понятия о звуке

Прежде чем мы начнем обсуждение связи между уровнем звуковой мощности и уровнем звукового давления, мы должны определить некоторые базовые понятия, такие как звуковое давление, звуковая мощность и частота.

Звуковое давление

Звуковые волны распространяются в воздухе в виде колебаний давления. Наши уши воспринимают колебания давления как звук. Звуковое давление измеряется в паскалях (Па).

Наименьшее звуковое давление, которое воспринимает человеческое ухо - $2 \cdot 10^{-5}$ Па, является порогом слышимости. Самое сильное звуковое давление, которое может вынести ухо (болевого порог) - 20 Па, и это считается верхней границей слышимости. Большая числовая разница, измеряемая в Па, между порогом слышимости и болевым порогом создаёт неудобства при расчете. Поэтому используется логарифмическая шкала, которая основывается на отношении действительного уровня звукового давления к порогу слышимости. Эта шкала использует в качестве единицы измерения децибел (дБ), где 0 дБ соответствует порогу слышимости, а 120 дБ соответствуют болевому порогу.

Звуковое давление уменьшается с увеличением расстояния от источника звука и зависит от акустических характеристик помещения и места нахождения источника звука.

Звуковая мощность

Звуковая мощность определяется, как количество энергии, передаваемой в единицу времени (Вт), которую испускает источник звука. Звуковая мощность не может быть измерена непосредственно и вычисляется через звуковое давление. Существует логарифмическая шкала для мощности звука, аналогичная шкале звукового давления.

Звуковая мощность не зависит от места расположения источника звука или акустических характеристик помещения и поэтому ее удобно использовать для сравнения акустических характеристик различных вентиляторов.

Частота

Количество колебаний источника звука в единицу времени относительно среднего значения определяется частотой. Частота измеряется как количество колебаний в секунду, при этом одно колебание в секунду равно 1 Герц (Гц). Больше количество колебаний в секунду, т. е. более высокая частота, дает более высокий тон.

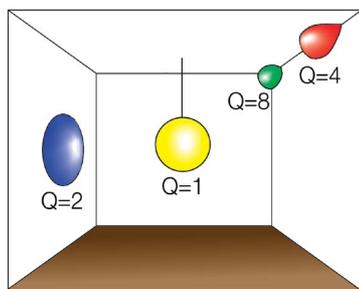
Частоты часто подразделяются на 8 групп, известных как полосы со среднегеометрическими частотами: 63 Гц, 125 Гц, 250 Гц, 500 Гц, 1000 Гц, 2000 Гц, 4000 Гц и 8000 Гц.

Уровень звуковой мощности и уровень звукового давления

На уровень звукового давления, создаваемого источником шума, оказывает влияние уровень звуковой мощности источника, коэффициент направленности (1), расстояние до источника (2) и звукопоглощающие характеристики помещения (3).

1) Коэффициент направленности, Q

Коэффициент направленности определяет, как звук распределяется от источника. Распространение звука во всех направлениях, сферическое, означает, что $Q = 1$. Для диффузора, расположенного в середине стены, направленность будет полусферической $Q = 2$.



- Q = 1 В центре помещения
- Q = 2 На стене или потолке
- Q = 4 Торец стены и потолка
- Q = 8 В углу

Рис. 1. Коэффициенты направленности для различно расположенных источников шума

2) Расстояние от источника шума, r

r - это расстояние до источника звука в метрах.

3) Эквивалентная площадь поглощения помещения, A_{equiv}

Способность материалов поглощать звук называется коэффициентом поглощения α . Коэффициент поглощения может иметь значения от 0 до 1, где значение 1 соответствует полностью поглощающей поверхности, а значение 0 - полностью отражающей поверхности.

Эквивалентная площадь поглощения помещения измеряется в м² и может быть рассчитана путем умножения площади поверхностей помещения на их соответствующие коэффициенты поглощения.

Во многих случаях проще использовать средние значения для расчета звукового поглощения в различных типах помещений, а затем также оценочное значение эквивалентной площади поглощения помещения (см. рис. 2).

Эффективная площадь поглощения, основанная на оценке

Если не известны коэффициенты поглощения всех поверхностей и допустимо использовать усредненный коэффициент поглощения, то можно рассчитать его по графику. График построен для помещений со стандартными пропорциями, т.е. 1:1 или 5:2.

Зная объем и тип помещения, с помощью графика и таблицы 1 можно определить его среднее эквивалентное поглощение.

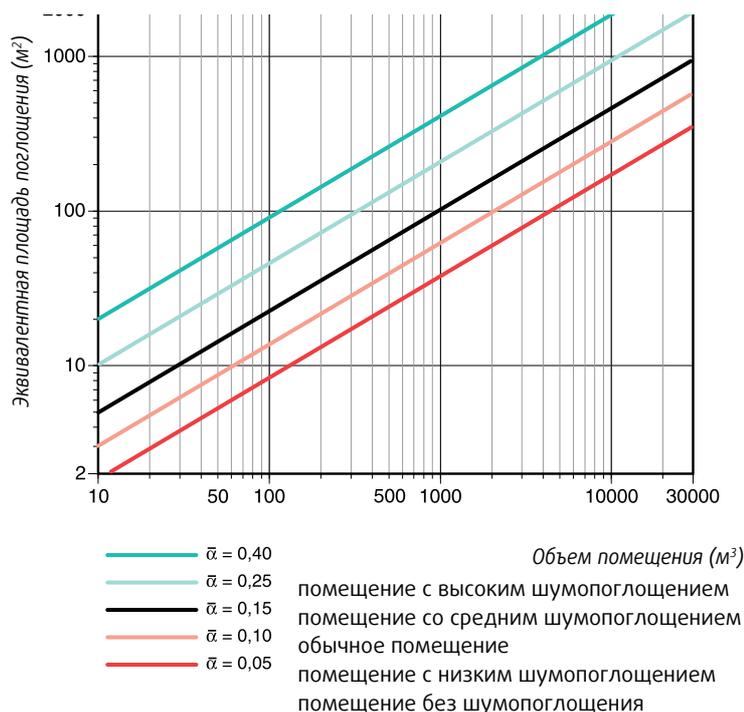


Рис. 2. Оценка эквивалентной площади поглощения

Расчет эквивалентной площади поглощения помещения A_{equiv}

$A_{equiv} = \alpha_1 \cdot S_1 + \alpha_2 \cdot S_2 + \dots + \alpha_n \cdot S_n$, где
 S = площадь поверхности (м²)
 α = коэффициент поглощения (зависит от материала)
 n = количество поверхностей

Расчет уровня звукового давления

Для расчета используются рисунки 1, 2, 3 и таблица 1.

В помещении с нормальной звукоизоляцией, в больничной палате, размером 30 м³, нужно сделать вентиляцию. В соответствии с информацией, приведенной в каталоге, приточный диффузор, установленный на потолке, имеет уровень звукового давления (L_{pA}) 33 дБ(А). Это относится к помещению с эквивалентной площадью поглощения 10 м² Сэбин или 4 дБ(А).

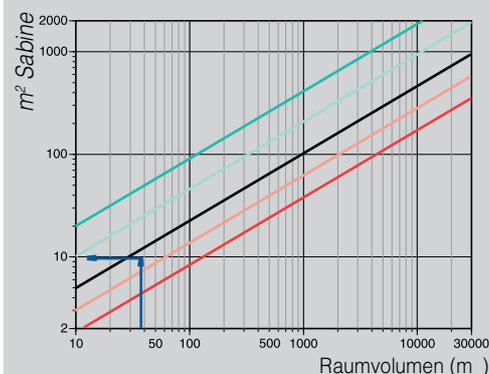
А) Каков будет уровень звукового давления в данном помещении на расстоянии 1 м от диффузора?

Уровень звукового давления зависит от акустических свойств помещения, а потому, во-первых, необходимо перевести каталожные значения в уровень звуковой мощности (L_{WA}).

Рис. 3. показывает, что DL (звукопоглощение пространства) = $L_{pA} - L_{WA}$
 $L_{WA} = L_{pA} + DL$
 $L_{WA} = 33 + 4 = 37$ дБ(А)

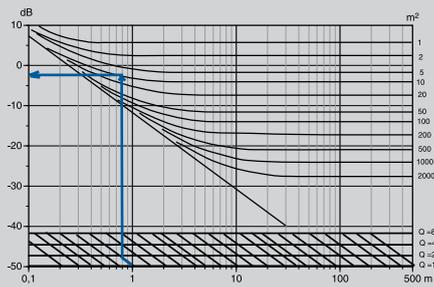
Используя следующие значения
 $r = 1$

$Q = 2$ (рис. 1)
 и зная объем помещения 30 м³, можно рассчитать эквивалентную площадь поглощения помещения с помощью рис. 2.



Таким образом, эквивалентная площадь поглощения равна 10 м².

Теперь для определения разницы между звуковым давлением и звуковой мощностью стало возможным воспользоваться рис. 3.



$$L_{pA} - L_{WA} = 0$$

$$L_{pA} = 0 + L_{WA}$$

Введите уже рассчитанное значение L_{WA} .

$$L_{pA} = 0 + 37 = 37 \text{ дБ(А)}$$

А) Уровень звукового давления (L_{pA}) на расстоянии одного метра от диффузора в данной конкретной больничной палате составит 37 дБ(А).

Этот расчет необходимо сделать для всех помещений, не соответствующих $A=10 \text{ m}^2$ Sabine, поскольку данные по уровню звукового давления в каталоге приведены для стандартного помещения с эквивалентной площадью поглощения 10 m^2 Sabine.

Чем меньше звукопоглощение в помещении (голые стены), тем выше реальный уровень звукового давления по сравнению со значениями, указанными в каталоге.

Расчет уровня звукового давления

$$L_{pA} = L_{WA} + 10 * \log \left[\frac{Q}{4 \pi r^2} + \frac{4}{A_{\text{ekv}}} \right]$$

где

L_{pA} = уровень звукового давления (дБ)

L_{WA} = уровень звуковой мощности (дБ)

Q = коэффициент направленности

r = расстояние до источника звука (м)

A_{ekv} = эквивалентная площадь поглощения (m^2 Эббин)

Тип помещения	Усредненный коэф. поглощения
Радиостудии, музыкальные салоны	0,30 - 0,45
Телевизионные студии, читальные залы, склады	0,15 - 0,25
Жилые помещения, офисы, конференц-залы, театр	0,10 - 0,15
Школьные комнаты, детские сады, небольшие церкви	0,05 - 0,10
Заводы, плавательные бассейны, большие церкви	0,03 - 0,05

Таблица 1. Средние значения коэффициентов поглощения для различных типов помещений

Расчет уровня звукового давления

С помощью вышеописанных коэффициентов теперь возможно рассчитать уровень звукового давления, если известен уровень звуковой мощности. Уровень звукового давления может быть рассчитан с помощью формулы, включающей все эти факторы, но это равенство можно также воспроизвести в форме графика.

Расчет уровня звукового давления по графику начинаем с расстояния до источника звука (r) и, учитывая коэффициент направленности (Q), получаем разницу между уровнем звуковой мощности и уровнем звукового давления для эквивалентной площади поглощения заданного помещения (A). Это значение разности добавляем к уже известному уровню звуковой мощности и получаем уровень звукового давления.

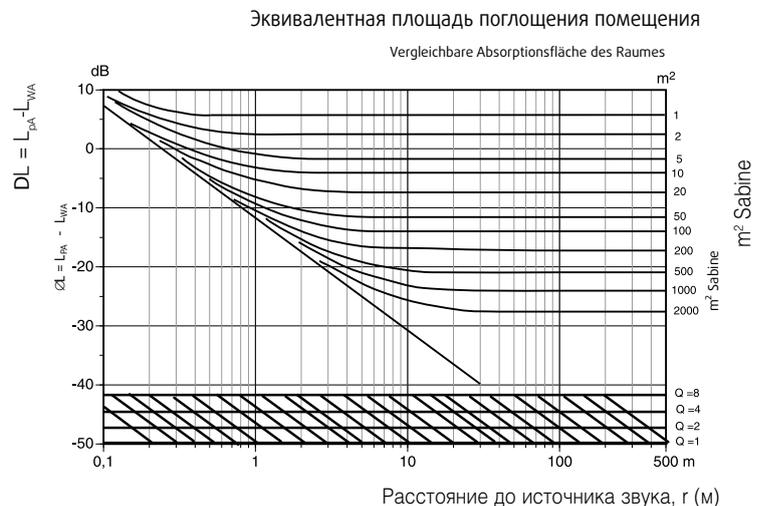


Рис. 3. Примерная оценка уровня звукового давления

Прилегающее и реверберационное пространство

Прилегающим называется пространство, где уровень шума от источника доминирует над общим уровнем шума в помещении.

В реверберационном пространстве будет доминировать отраженный звук. И невозможно определить оригинальный источник звука.

При прямом распространении звук ослабевает с увеличением расстояния, в то время как отраженный звук примерно одинаков во всех частях помещения.

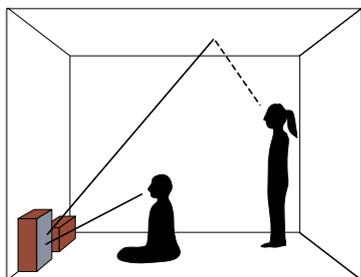


Рис. 4. Прямой и отраженный звук.

Время реверберации

Время реверберации - это время, за которое уровень звука, уменьшается на 60 дБ. Это подобно эффекту эха, который образуется в тихой комнате после выключения мощного источника звука.

Если время реверберации рассчитано достаточно точно, то по этой же формуле можно рассчитать и эквивалентную площадь поглощения помещения.

Сложение

График построен на основании разницы в дБ двух складываемых источников звука. Величину дБ, которая должна быть прибавлена к большему уровню, определяем по шкале у.



Рис. 5. Логарифмическое сложение

Расчет времени реверберации

Если в помещении не очень глухо (т. е. коэффициент поглощения менее 0,25), то время реверберации можно рассчитать по формуле Сэбин:

$$T = 0,163 * \frac{V}{A_{\text{екв}}}$$

где

T= время реверберации (сек)

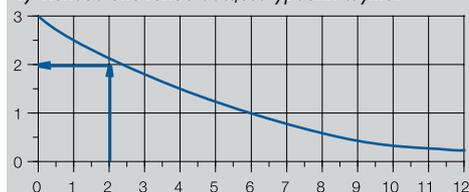
V= объем помещения (м³)

$A_{\text{екв}}$ = эквивалентная площадь поглощения комнаты, м²

Пример сложения

Два источника звука излучают 40 и 38 дБ соответственно.

1) Каково значение общего уровня шума?



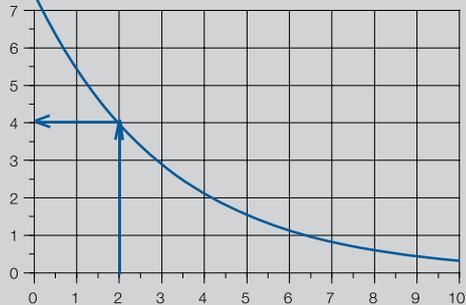
Разница между двумя уровнями 2 дБ. Согласно графику, до большего уровня необходимо добавить 2 дБ.

1) Общий уровень шума составит, таким образом, 42 дБ.

Пример вычитания

В комнате с приточно-вытяжной системой общий уровень шума 34 дБ. Известно, что уровень шума приточной системы 32 дБ, а вытяжной - неизвестен.

2) Каков уровень шума вытяжной системы?



Разница между общим уровнем и уровнем шума приточной системы составляет 2 дБ. Согласно графику, из общего уровня шума необходимо вычитать 4 дБ.

2) Таким образом, уровень шума вытяжной системы составляет 30 дБ.

Вычитание

График построен на основании разницы в дБ между общим уровнем звука и уже известным уровнем звука. Величину дБ, которая должна быть вычтена из общего уровня звука, получаем по шкале у.



Рис. 6. Логарифмическое вычитание

Имитация слуха

Человеческое ухо имеет разную степень чувствительности к звукам различной частоты. Это означает, что звуки с высокой и низкой частотой одинаковой мощности будут распознаваться, как два разных звуковых уровня. Говоря проще, мы слышим высокочастотный звук лучше, чем звук с низкой частотой.

A - фильтр

Чувствительность слуха также зависит от силы звука. Для компенсации неравномерного восприятия звука на октавные полосы частот накладываются корректировки, так называемые фильтры. Для уровня звукового давления ниже 55 дБ используется А-фильтр. Для уровня между 55 и 85 дБ - В-фильтр, а для уровня свыше 85 дБ - С-фильтр.

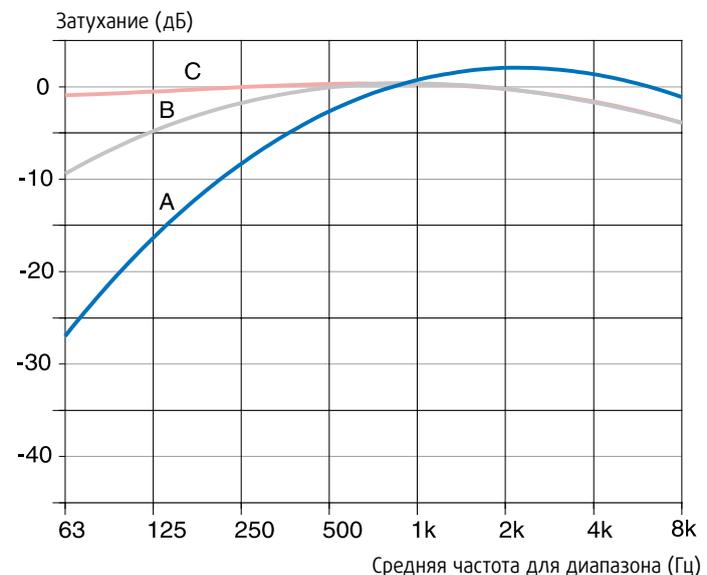


Рис. 7. Выравнивание с A-, B- или C-фильтрами

A-фильтр наиболее часто применяется в вентиляции, накладывая коррективную поправку на каждую октавную полосу частот (см. табл. 2). Поэтому значения дБ, получаемые с коррективной A-фильтра, обозначаются как дБ(A).

Гц	63	125	250	500	1k	2k	4k	8k
дБ	-26,2	-16,1	-8,6	-3,2	0	+1,2	+1,2	-1,1

Таблица 2. Поправка на человеческий слух (A-фильтр).

Помимо фильтров, существуют также другие способы компенсировать несовершенство восприятия уха. График с NR-кривыми (Noise Rating - рейтинг шума) показывает звуковое давление и частоту звука, которая воспринимается человеческим ухом одинаково. Например, 43 дБ при 4000 Гц так же опасны, как 65 дБ при 125 Гц.

Снижение шума

Снижение шума достигается двумя способами: поглощением или отражением звука.

Затухание поглощением

- Звукоизолированные воздуховоды.
- Глушители.
- Поглощение звука самой комнатой.

Затухание отражением

- Концевое отражение (когда звук отражается от конечного диффузора назад в воздуховод).
- Разветвления или повороты (отводы, утки, отступы).

Степень глушения шума может быть рассчитана с использованием таблиц и графиков, представленных в технической документации соответствующих поставщиков.

NR- кривые

